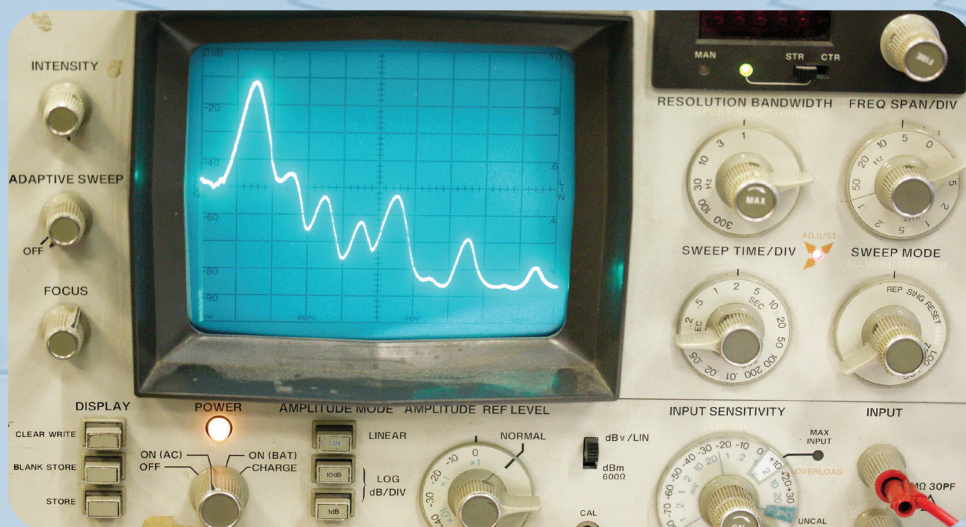




SAPIENTIA
ERDÉLYI MAGYAR
TUDOMÁNYEGYETEM
MAROSVÁSÁRHELYI KAR



DOMOKOS JÓZSEF PAPP SÁNDOR

ANALÓG ELEKTRONIKA GYAKORLATOK

DOMOKOS JÓZSEF, PAPP SÁNDOR

ANALÓG ELEKTRONIKA GYAKORLATOK



SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM
MAROSVÁSÁRHELYI KAR
VILLAMOSMÉRNÖKI TANSZÉK

DOMOKOS JÓZSEF, PAPP SÁNDOR

ANALÓG ELEKTRONIKA
GYAKORLATOK

Scientia Kiadó
Kolozsvár · 2019

Felelős kiadó:
dr. Kása Zoltán

Lektor:
Rakos Balázs (Budapest)

Első magyar nyelvű kiadás: 2019

©Scientia, 2019

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás, a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

ISBN: 978-606-975-022-3

TARTALOM

Előszó	15
1. Passzív áramköri elemek	17
1.1. A gyakorlat célja	17
1.2. Szükséges eszközök	17
1.3. Bevezető	17
1.4. Ellenállások	18
1.5. Kondenzátorok	21
1.6. Tekercsek, transzformátorok	24
1.7. Elektromos jelek	26
1.8. A mérés menete	28
2. Ohm és Kirchhoff törvényei	29
2.1. A gyakorlat célja	29
2.2. Szükséges eszközök	29
2.3. Ohm törvénye	30
2.4. Kirchhoff csomóponti törvénye	30
2.5. Kirchhoff zárt áramköri hurokra vonatkozó törvénye	31
2.6. Ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása	32
2.7. Feszültség és áramosztók	33
2.8. A mérés menete	35
3. Félvezető diódák	39
3.1. A gyakorlat célja	39
3.2. Szükséges eszközök	39
3.3. Az egyenirányító dióda statikus átviteli jelleggörbéje	39
3.4. A mérés menete	40
3.5. A Zener-dióda átviteli jelleggörbéje	41

4. Egyenirányítás	45
4.1. A gyakorlat célja	45
4.2. Szükséges eszközök	45
4.3. Egyenfeszültségű tápegységek	45
4.4. A hálózati transzformátor	46
4.5. Egyenirányítók	46
4.6. Egyutas egyenirányítók	46
4.7. Kétutas egyenirányítók középleágazásos kapcsolással	48
4.8. Kétutas egyenirányítók Graetz-hidas kapcsolat	49
5. Bipoláris tranzistorok jelleggörbéi	51
5.1. A gyakorlat célja	51
5.2. Szükséges eszközök	51
5.3. A mérés menete	52
6. Bipoláris tranzistorok kapcsoló üzemmódja	57
6.1. A gyakorlat célja	57
6.2. Szükséges eszközök	57
6.3. A mérés menete	57
6.4. A logikai NEM kapcsolat	57
6.5. A logikai VAGY kapcsolat	58
6.6. A logikai ÉS kapcsolat	60
7. Feszültségstabilizátorok	62
7.1. A gyakorlat célja	62
7.2. Szükséges eszközök	62
7.3. Parametrikus feszültségstabilizátor	62
7.4. Soros áteresztő szabályozós stabilizátor	64
7.5. Integrált feszültségstabilizátorok	66
8. Kisfrekvenciás erősítőfokozat	69
8.1. A gyakorlat célja	69

8.2. Szükséges eszközök	69
8.3. A mérés menete	69
8.4. A tranzisztor munkapontjának a meghatározása	70
8.5. A feszültségerősítés mérése	71
8.6. Feladatok	72
9. Tervezélrésű tranzisztorok jelleggörbéi	73
9.1. A gyakorlat célja	73
9.2. Szükséges eszközök	73
9.3. A mérés menete	73
9.4. A statikus kimeneti jelleggörbesereg mérése	73
9.5. Statikus átviteli jelleggörbe mérése	75
10. Optoelektronikai eszközök	77
10.1. A gyakorlat célja	77
10.2. Szükséges eszközök	77
10.3. Fénykibocsátó diódák (LED-ek)	77
10.4. Fotoellenállások	78
10.5. Fotodiódák	79
10.6. Fototranzisztorok	80
10.7. Optocsatolók (Fénycsatolók)	82
11. Többátmenetes félvezető eszközök	84
11.1. A gyakorlat célja	84
11.2. Szükséges eszközök	84
11.3. A DIAC (Diode Alternating Current Switch)	84
11.4. A tirisztor	86
11.5. A TRIAC	87
12. Műveleti erősítők alapkapcsolásai	89
12.1. A gyakorlat célja	89
12.2. Szükséges eszközök	89

12.3. Bevezetés	89
12.4. Fázisfordító erősítők	90
12.5. Fázist nem fordító erősítők	91
12.6. Összeadó áramkör	92
13. Műveleti erősítők alkalmazásai	94
13.1. A gyakorlat célja	94
13.2. Szükséges eszközök	94
13.3. Bevezetés	94
13.4. Fázisfordító Schmitt-trigger	95
13.5. Fázist nem fordító Schmitt-trigger	96
Szakirodalom	97
Abstract	98
Rezumat	99
A szerzőkről	100

CONTENTS

Preface	15
1. Pasive electronic devices and electric signals	17
2. Ohm's law and Kirchhoff's theorems	29
3. Semiconductor diodes	39
4. Rectifiers	45
5. Bipolar transistors	51
6. Switching operating mode of bipolar transistors	57
7. Voltage regulators	62
8. Low frecvency range amplifier	69
9. Field effect transistors	73
10. Optoelectronic devices	77
11. Multijunction semiconductor devices	84
12. Basic connections of the operational amplifiers	89
13. Applications of the operational amplifiers	94
References	97
Abstract	99
About the authors	100

CUPRINS

Prefată	15
1. Componente electronice pasive și semnale electrice	17
2. Legea lui Ohm și teoremele lui Kirchhoff	29
3. Diode semiconductoare	39
4. Circuite de redresare a curentului alternativ	45
5. Tranzistoare bipolare	51
6. Regimul de comutație al tranzistoarelor bipolare	57
7. Stabilizatoare de tensiune	62
8. Amplificator de frecvențe joase	69
9. Tranzistoare cu efect de câmp	73
10. Dispozitive optoelectronice	77
11. Dispozitive semiconductoare multijoncțiune	84
12. Conexiunile de bază ale amplificatoarelor operaționale	89
13. Aplicații ale amplificatoarelor operaționale	94
Bibliografie	97
Rezumat	98
Despre autori	100

ELŐSZÓ

Jelen analóg elektronika gyakorlati útmutató annak a tapasztalatnak az alapján készült, amelyet a szerzők az analóg elektronika tantárgyhoz tartozó fejezetek oktatása során szereztek a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Karának Villamosmérnöki tanszékén.

A tantárgy öt mérnöki tanulmányi program tantervében szerepel: Automatika és alkalmazott informatika, Számítástechnika, Infokommunikációs hálózatok és rendszerek (Távközlés), illetve Mechatronika és Gépészmérnöki szakok. Mind az öt szak esetében heti 2 óra előadás és 2 óra laboratóriumi gyakorlat van előírva a tantervek szerint.

A bemutatott gyakorlatok alapján a hallgatók egy szemeszter folyamán 13 mérést végeznek el. Minden gyakorlat egy-egy áramköri elem működését tanulmányozza, illetve az áramköri elemek leggyakoribb alkalmazásait mutatja be.

A gyakorlatok az elméleti alapismeretek bemutatásával kezdődnek, majd ezt követik a konkrét mérések. Minden méréshez kapcsolási rajz tartozik, illetve a hallgatók a mérési adatokat táblázatok formájában kell összefoglalják. A szükséges számításokat az elméleti részben leírt összefüggések segítségével kell elvégezni. Legtöbb gyakorlat végén diagramokat, grafikonokat kell szerkeszteni a mérési adatok alapján, annak érdekében, hogy a hallgatók jobban elsajátítsák az áramköri elemek, illetve az elektronikus kapcsolások működését.

Gyakorlati útmutatónk elektronikus formában is elérhető a világhálón a Sapientia EMTE Elektronika laboratóriumának honlapján a www.ms.sapientia.ro/elektronika címen.

Marosvásárhely,
2018. december 18.

Domokos József, Papp Sándor

PASSZÍV ÁRAMKÖRI ELEMEEK

1.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja átismételni a hallgatók által ismert passzív áramköri elemek fontosabb paramétereit, megismerni új áramköri elemeket, illetve összefoglalni az áramköri elemek egyezményes jelölési módját és kódolását. A gyakorlat során a hallgatók elsajátítják a laboratóriumi mérőműszerek használatát és megméri a passzív áramköri elemek fő paramétereit: ellenállás, kapacitás, induktivitás.

Ugyanakkor a gyakorlat során a diákok felfrissítik az elektronikában használt legfontosabb jelek: a szinuszosan váltakozó, négyszög- és fűrészfőjel alakját, paramétereit, illetve megtanulják használni a jelgenerátort és az oszcilloszkópot.

1.2. Szükséges eszközök

- ellenállásmérő;
- RLC-mérő;
- passzív áramköri elemek: ellenállások, kondenzátorok, tekercsek, transzformátorok;
- jelgenerátor és oszcilloszkóp.

1.3. Bevezető

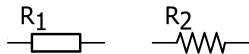
Az elektronikai áramkörök áramköri elemekből épülnek fel. Az áramköri elemeket két osztályba sorolhatjuk: aktív áramköri elemek, pl. a tranzisztorok (T) és passzív áramköri elemek, pl. ellenállások (R), kondenzátorok (C), tekercsek (L).

Aktív áramköri elemek azok, amelyek képesek a bemeneti jelet felerősíteni (pl. a tranzisztorok).

A fizika és elméleti villamosságtan tantárgyak keretében eddig tanulmányozott elektronikai áramköri elemek passzív áramköri elemek. Ezen áramköri elemek fontosabb paramétereit foglalja össze ez a gyakorlat.

1.4. Ellenállások

Az ellenállások egyezményes áramköri jelölési módját az alábbi ábra szemlélteti, R_1 az európai, R_2 az amerikai standard szerint.



1.1. ábra. Az ellenállások egyezményes áramköri jelölése

Az ellenállások fontosabb paramétere

Névleges ellenállás (R):

Meghatározás: A névleges ellenállás az az Ω (Ohm)-ban kifejezett érték, amelyet a gyártó cég az ellenálláson megjelöl. A jelölés történhet színkóddal, betű- és számkóddal vagy teljesen kiírva (a nagyobb méretű teljesítményellenállások esetében). Ellenállások színkódolását kiértékelő webalkalmazások gyűjteménye található a Sapientia EMTE Elektronika laboratóriumának honlapján, a <http://www.ms.sapientia.ro/elektronika/linkek.html> linken.

Az elektromos ellenállás mértékegysége az Ohm (Ω). Az Ω többszöröse a kilo Ω és a mega Ω :

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

A gyakorlatban használatos ellenállások értékei néhány Ω -tól több száz $\text{M}\Omega$ -ig terjednek.

Tűréshatár (tolerancia) (t):

Meghatározás: Az ellenállások tűréshatára az a százalékban kifejezett érték, amely megadja a névleges ellenállás értékétől való legnagyobb megengedett eltérést. Ezt az eltérést százalékban adják meg. A gyártási folyamat végén azok az ellenállások, amelyek értékei nagyobb eltérést mutatnak a névleges ellenállásértéktől, mint amennyit az adott tűréshatáruk megenged, selejtnek minősülnek.

Például egy $R = 10 \text{ k}\Omega$ névleges értékű és 10% tűréshatárú ellenállás mért értéke az $R = 10 \text{ k}\Omega + 10\%$ és $10 \text{ k}\Omega - 10\%$ értékek által meghatározott $[9 \text{ k}\Omega, 11 \text{ k}\Omega]$ intervallumban található.

Névleges teljesítmény (P):

Meghatározás:

Az ellenállások névleges teljesítménye az a legnagyobb megengedett teljesítményérték, amely mellett az ellenállás hosszú ideig működhet anélkül, hogy paraméterei irreverzibilis (megfordíthatatlan) módon megváltoznának.

A névleges teljesítmény mértékegysége a Watt [W]. A Watt leggyakrabban használt törtrésze a milliwatt:

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

Az elektronikában használatos ellenállások névleges teljesítménye néhány mW és néhány W között változhat.

Az ellenállások osztályozása:

Az ellenállások két osztályba sorolhatók:

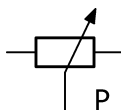
- fix értékű ellenállások;
- változó értékű ellenállások.

A fix értékű ellenállások névleges ellenállását a gyártási folyamat során meghatározzák, és ezt az értéket soha nem változtathatják meg működésük során.

A változó értékű ellenállások további két osztályba sorolhatók:

- változtatható értékű ellenállások (potenciométerek);
- hangolható ellenállások.

A változtatható értékű ellenállások vagy potenciométerek ellenállásértéke nagy intervallumban módosítható. Ezek általában az elektronikai műszerek előlapjára kerülnek, könnyen elérhető helyekre szerelik őket, és a műszerek működése közben is változtathatóak. Áramköri jelölésüket az alábbi ábra szemlélteti:

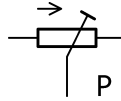


1.2. ábra. A potenciométer egyezményes áramköri jelölése

A potenciométerek ellenállása lineáris (LIN) vagy logaritmikus (LOG) görbe alapján változhat. A logaritmikus potenciométereket hangerőszabályozásra használják.

A hangolható ellenállások értéke csak egy szűk intervallumban módosítható, a névleges ellenállás környékén. Értéküket ritkán változtatják (például az elektronikai műszerek működésbe helyezésekor vagy etalonálásakor), és csak valamilyen segédeszköz (pl. csavarhúzó) segítségével tehetjük ezt meg.

Elhelyezésüket illetően azt mondhatjuk, hogy általában nincsenek a felhasználók számára könnyen elérhető helyeken. Áramköri jelölésüket az alábbi ábra szemlélteti:

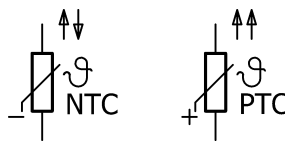


1.3. ábra. A hangolható ellenállás egyezményes áramköri jelölése

Léteznek olyan ellenállások is, amelyek értéke nem mechanikai beavatkozás során változik, hanem valamilyen más elektromos vagy nem elektromos fizikai mennyiség hatására. Ezeknek az ellenállásoknak a karakterisztikái általában nem lineárisak. Ilyen ellenállások a:

- termisztorok;
- varisztorok;
- fényérzékeny ellenállások (fotoellenállások).

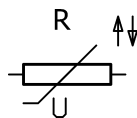
A termisztorok olyan nemlineáris ellenállások, amelyek ellenállása a hőmérséklet függvényében változik ($R = f(t[^\circ\text{C}])$). A termisztorok két típusának az áramköri jelölését szemlélteti az 1.4. ábra. A negatív hőmérsékletváltozási együtthatóval rendelkező termisztorok (NTC - Negative Temperature Coefficient) ellenállása csökken a hőmérséklet növekedésével, míg a pozitív hőmérséklet-változási együtthatóval rendelkező termisztorok (PTC - Positive Temperature Coefficient) ellenállása együtt nő a hőmérséklet növekedésével.



1.4. ábra. A termisztorok egyezményes áramköri jelölése

A varisztorok olyan nemlineáris ellenállások, amelyek ellenállása a rájuk eső feszültség függvényében változik ($R = f(U)$). A varisztorok áramköri jelölése az 1.5. ábrán látható:

A fotoellenállások (fényérzékeny ellenállások) olyan nemlineáris ellenállások, amelyek ellenállása a rájuk eső fény intenzitása függvényében változik ($R = f(\phi)$). A fotoellenállások áramköri jelölése az 1.6. ábrán látható:



1.5. ábra. A varisztor egyezményes áramköri jelölése



1.6. ábra. A fotoellenállás egyezményes áramköri jelölése

1.5. Kondenzátorok

A kondenzátorok egyezményes áramköri jelölése az alábbi ábrán látható:



1.7. ábra. A kondenzátor egyezményes áramköri jelölése

A kondenzátorok fő paraméterei

Névleges kapacitás (C):

Meghatározás: A névleges kapacitás az a Faradban (F) kifejezett érték, amelyet a gyártó cég a kondenzátoron megjelöl. A jelölés törtenhet színkóddal, betű- és számkóddal vagy teljesen kiírva. Kondenzátorok színkódolását kiértékelő webalkalmazások gyűjteménye található a Sapientia EMTE Elektronika laboratóriumának a honlapján a <http://www.ms.sapientia.ro/elektronika/linkek.html> linken. A névleges kapacitás mértékegysége a Farad (F). A gyakorlatban használatos kondenzátorok értékei a Farad törtrészeivel (mikro, nano, piko Farad) egyenlőek.

$$1 \mu F = 10^{-6} F$$

$$1 nF = 10^{-9} F$$

$$1 pF = 10^{-12} F$$

Tűréshatár (tolerancia) (t):

Meghatározás: A kondenzátorok tűréshatára, hasonlóan az ellenállásokéhoz, az a százalékban [%] kifejezett érték, amely megadja a névleges kapacitás értékétől való legnagyobb megengedett eltérést.

Névleges feszültség (U):

Meghatározás: A kondenzátorok névleges feszültsége az a legnagyobb megengedett egyenfeszültség-érték (vagy egy váltakozó feszültség effektív értéke), amely mellett a kondenzátor hosszú ideig működhet anélkül, hogy paraméterei megfordíthatatlan módon megváltoznának.

A kondenzátorokat két csoportba sorolhatjuk, az ellenállásokhoz hasonlóan:

- fix értékű kondenzátorok;
- változtatható értékű kondenzátorok.

A fix értékű kondenzátorok névleges kapacitását a gyártási folyamat során meghatározzák, és ezt az értéket soha nem változtathatják meg működésük során.

A változtatható értékű kondenzátorokat az ellenállásokhoz hasonlóan további két osztályba sorolhatjuk:

- változtatható kapacitású kondenzátorok;
- hangolható (trimmer) kondenzátorok.

A változtatható kapacitású kondenzátorok értéke nagy intervallumban módosítható. Ezek általában az elektronikai műszerek előlapjára kerülnek, könnyen elérhető helyre, és a műszerek működése közben is többször változtathatóak. Áramköri jelölésüket az alábbi ábra szemlélteti:



1.8. ábra. A változtatható kondenzátor egyezményes áramköri jelölése

A hangolható kondenzátorok értéke csak egy szűk intervallumban módosítható, a névleges kapacitás környékén. Értéküket ritkán változtatják (például az elektronikai műszerek működésbe helyezésékor vagy etalonálásokor), és csak segédeszköz segítségével tehetjük ezt meg. Elhelyezésüket illetően azt mondhatjuk, hogy általában nincsenek a felhasználók számára könnyen elérhető helyeken. Áramköri jelölésüket az alábbi ábra szemlélteti:

Az 1.10. ábrán egy síkkondenzátor felépítése látható.

A kondenzátor kapacitását az alábbi összefüggéssel számíthatjuk ki:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot S}{d},$$

ahol:



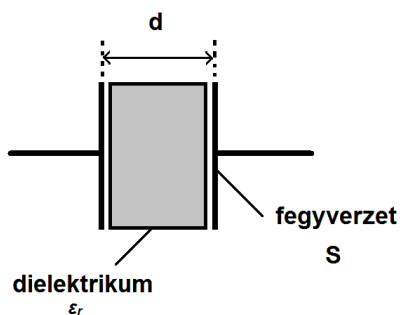
1.9. ábra. A hangolható kondenzátor egyezményes áramköri jelölése

ϵ_0 – a légüres tér permittivitása ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} F/m$);

ϵ_r – a dielektrikum relatív permittivitása;

S – a fegyverzetek felülete;

d – a fegyverzetek közötti távolság.

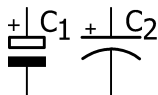


1.10. ábra. A síkkondenzátor szerkezete

A dielektrikum (a fegyverzetek között található szigetelőanyag) több anyagból készülhet:

- papír;
- levegő;
- műanyag;
- kerámia;
- fém-oxid.

Külön jelölése van az elektrolitikus kondenzátoroknak, hiszen ezek esetén a polaritást is fel kell tüntetni.



1.11. ábra. Az elektrolitikus kondenzátorok egyezményes áramköri jelölése

Szinuszosan váltakozó feszültségű áramkörökben a kondenzátorokat a kapacitív reaktancia (X_c) értéke jellemzi. Ezt az értéket az alábbi összefüggéssel számíthatjuk ki:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C},$$

ahol:

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ – a szögsebesség;

C – a kondenzátor kapacitása;

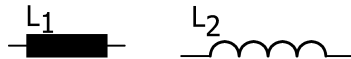
f – a szinuszosan váltakozó feszültség frekvenciája;

$T = \frac{1}{f}$ – a szinuszosan váltakozó feszültség periódusa.

Egyenáramú áramkörökben, mivel $f=0$, a kondenzátorok kapacitív reaktanciája $X_C=\infty$.

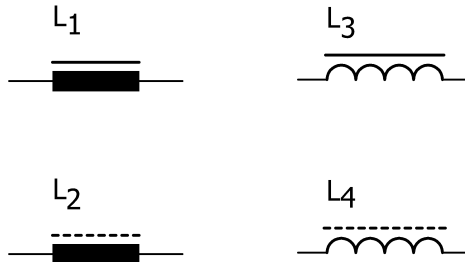
1.6. Tekercsek, transzformátorok

A tekercseknek két egyaránt elfogadott egyezményes jelölési módjuk van. Az alábbi ábra szemlélteti ezeket. A bal oldali jelölés az európai standard, míg a jobb oldali az egyesült államokbeli standardot alkalmazza.



1.12. ábra. A tekercsek egyezményes áramköri jelölései

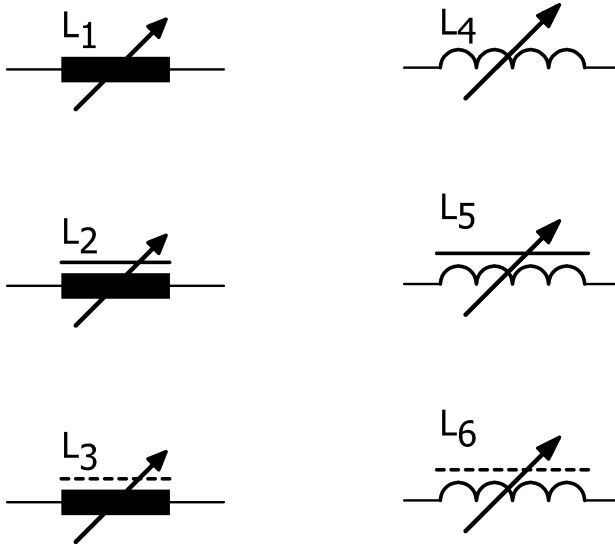
A tekercsek lehetnek fix értékű (1.12.) vagy változtatható értékűek (1.14.). Ez utóbbiak általában vasmaggal vagy feritmaggal rendelkeznek.



1.13. ábra. A vasmaggal (L_1, L_3) és feritmaggal rendelkező (L_2, L_4) tekercsek egyezményes áramköri jelölése

A tekercsek legfontosabb paramétere az induktivitásuk (L). Az induktivitás mértékegysége a Henry. Általában a gyakorlatban mH nagyságrendű tekercseket használnak.

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$$



1.14. ábra. A változtatható induktivitású tekercsek egyezményes áramköri jelölése

Szinuszosan váltakozó feszültségű áramkörökben a tekercseket az induktív reaktancia jellemzi. Értéke az alábbi összefüggéssel számítható ki:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L,$$

ahol:

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ – a szögsebesség;

L – a tekercs induktivitása;

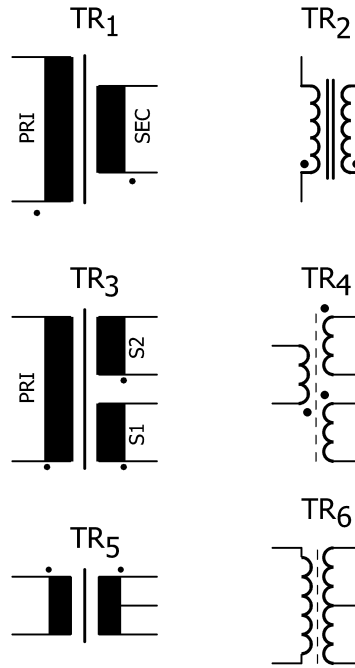
f – a szinuszosan váltakozó feszültség frekvenciája;

$T = \frac{1}{f}$ a szinuszosan váltakozó feszültség periódusa.

A transzformátorok egyezményes áramköri jelölését a fenti ábra szemlélteti. Ezek két vagy több tekercsből épülnek fel:

- primer (PRI);
- szekunder (SEC).

Előfordulhat, hogy egy transzformátornak több szekunder tekercse van, vagy a szekunder tekercsnek középleágazása van. Ilyenkor több kimeneti feszültséget kaphatunk a szekunder tekercsről.



1.15. ábra. A transzformátorok egyezményes áramköri jelölései

1.7. Elektromos jelek

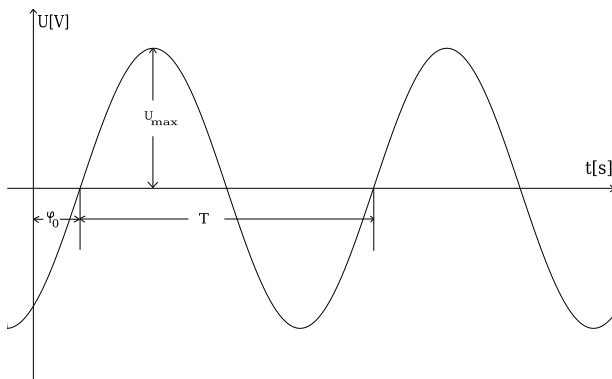
A gyakorlatok során periodikus jeleket fogunk használni. Az elektronikában három típusú periodikus jelnek van nagy jelentősége. Ennek a három jeltípusnak a formáját és főbb paramétereit foglalja össze a következő három alfejezet.

A szinuszosan váltakozó jel

Egy szinuszosan váltakozó feszültséget az idő függvényében az 1.15. ábra szemléltet. Matematikai összefüggéssel a következő formában adható meg egy szinuszosan váltakozó feszültség pillanatnyi értéke:

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0) = U_{max} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi_0)$$

A fenti összefüggésben $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$ a $\frac{rad}{s}$ -ban kifejezett körfrekvencia vagy szögsebesség. A szinuszosan váltakozó feszültséget leíró paraméterek az amplitúdó (U_{max}), a jel periódusa (T) vagy ennek fordított értéke a frekvencia ($f = \frac{1}{T}$), illetve a jel kezdőfázisa (φ_0). A jel frekvenciája



1.16. ábra. A szinuszosan váltakozó feszültség

és a periódus között fordított arányosság írható fel: $f = \frac{1}{T}$. A frekvencia mértékegysége $\frac{1}{s} = \text{Hz}(\text{Hertz})$.

Az amplitúdó vagy csúcserőérték (U_{max}) a feszültség legnagyobb pillanatértéke. A váltóáramú mérőműszerek a feszültség effektív értékét mérik. A szinuszosan váltakozó feszültség effektív értéke és a csúcserőérték közötti kapcsolatot a következő összefüggés adja meg: $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$.

Az európai háztartásokban használt hálózati feszültség frekvenciája 50 Hz és effektív értéke 230 V. Ez azt jelenti, hogy a hálózati feszültség periódusa $T = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms}$, csúcserőértéke pedig $230\sqrt{2} = 325,26 \text{ V}$!

A négyszögjel

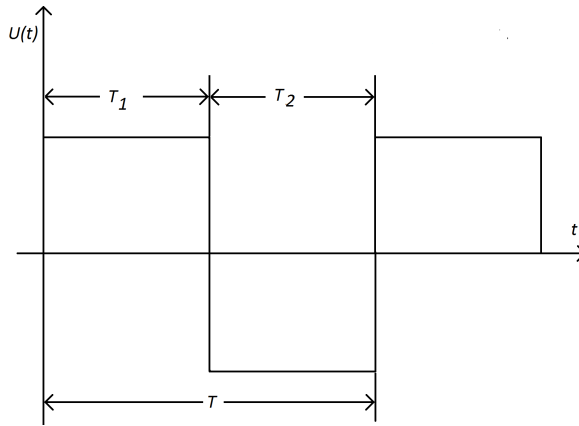
A négyszögjel a szinuszosan váltakozó jelhez hasonlóan periodikus jel. Az alábbi ábrán látható egy négyszögjel idődiagramja.

A négyszögjel legfontosabb paraméterei az amplitúdó, a periódus (T), a frekvencia (f) és a kitöltési együttható vagy tényező (δ).

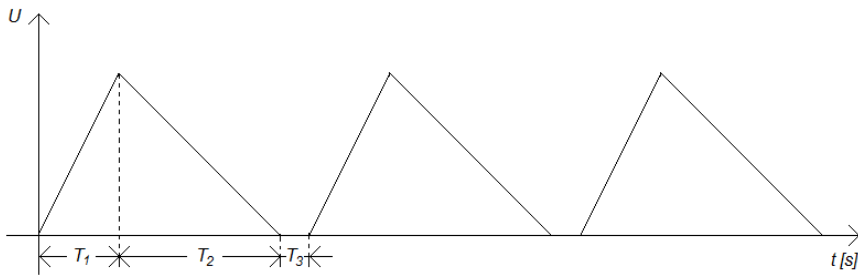
A kitöltési tényező értelmezés szerint a jel által a maximális értéken töltött idő és a jel periódusának az aránya: $\delta = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$, így mindig egység alatti értékeket vesz fel ($0 < \delta < 1$) és százalékban is kifejezhető.

A fűrészfogjel

A fűrészfogjel vagy háromszögjel is egy időben periodikusan változó jel. Időalapként szolgál a katódsugaras oszcilloszkópokban. A jel periódusát három részre oszthatjuk: T_1 jelölí a háromszögjel felfutási idejét, T_2 a lefutási időt, míg T_3 a visszatérési időt. A jel periódusa ennek a három alkotórésznek az összege: $T = T_1 + T_2 + T_3$.



1.17. ábra. A négyyszögjel



1.18. ábra. A háromszögjel

1.8. A mérés menete

A hallgatók megvizsgálják a különböző passzív áramköri elemeket, és RLC-mérő segítségével megméri a paramétereiket. Leolvassák és webalkalmazást használva kiértékelik a színkóddal jelölt ellenállások és kondenzátorok névleges értékeit. A mért adatokat táblázatba foglalják, az áramköri elemeken megjelölt névleges értékekkel együtt.

Jelgenerátort és oszcilloszkópot használva a hallgatók megvizsgálják a gyakorlatban leírt elektromos jeleket, megméri paramétereiket, és a mért adatokat táblázatba foglalják.

OHM ÉS KIRCHHOFF TÖRVÉNYEI

2.1. A gyakorlat célja

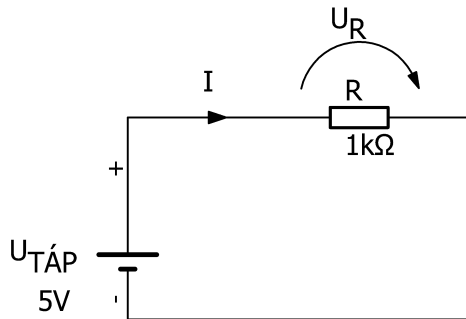
Ohm törvénye, valamint Kirchhoff törvényei az analóg elektronika és elméleti villamosságtan alapvető összefüggései. Segítségükkel számos áramkör megoldható, más szavakkal az áramköri elemek és a feszültségforrások értékeit ismerve kiszámolhatjuk az áramkör ágaiban folyó áramerősségek és az egyes áramköri elemekre eső feszültségek értékeit. Ugyanakkor elvégezhetjük a fordított számításokat is, azaz megkaphatjuk az egyes áramköri elemek értékeit az előírt feszültségek és áramerősségek függvényében.

Ugyancsak ezen törvényeket alkalmazva levezethető az eredő ellenállás értéke az ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása esetén.

A gyakorlat célja átismételni Ohm törvényét és Kirchhoff törvényeit, gyakorolni az egyenáramú áramkörökben használatos számításokat, feleleveníteni az ellenállások soros, illetve párhuzamos kapcsolására vonatkozó ismereteket, és bevezetni két alapvető áramkört: a feszültségosztó és az áramosztó kapcsolásokat. Mindezen ismereteket gyakorlati mérésekkel is alátámasztjuk. A mérések során a diákok elsajátítják az árammérő és a feszültségmérő használatát is.

2.2. Szükséges eszközök

- ellenállásmérő;
- árammérő;
- feszültségmérő;
- dekadikus ellenállások;
- feszültségforrás (10 V).



2.1. ábra. Ohm törvényét szemléltető áramkör

2.3. Ohm törvénye

A 2.1. ábrán látható áramkörben folyó I áram értéke az alábbi összefüggéssel számítható ki:

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_{TAP}}{R}, \text{ mivel } U_{TAP} = U_R$$

A fenti összefüggés Ohm törvénye és a két alábbi formában is felírható:

$$R = \frac{U_R}{I} \text{ vagy } U_R = I \cdot R$$

Szavakban megfogalmazva Ohm törvénye kijelenti, hogy egy adott ellenálláson mért feszültség számszerűen egyenlő a rajta átfolyó áram és az ellenállás értékének a szorzatával.

A fenti áramkörben, ha feltételezzük, hogy a feszültség értéke $U_{TAP} = 5 \text{ V}$ és az ellenállás $R = 1 \text{ k}\Omega$, az elektromos áram értéke:

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{5\text{V}}{10^3 \Omega} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 5 \text{ mA}$$

A 2.1. ábrán feltüntetett áramirány a konvencionális áramirány, mely a táp pozitív pólusától a negatív pólus felé mutat. Ez az irány ellentétes az elektronok valós mozgásának az irányával.

2.4. Kirchhoff csomóponti törvénye

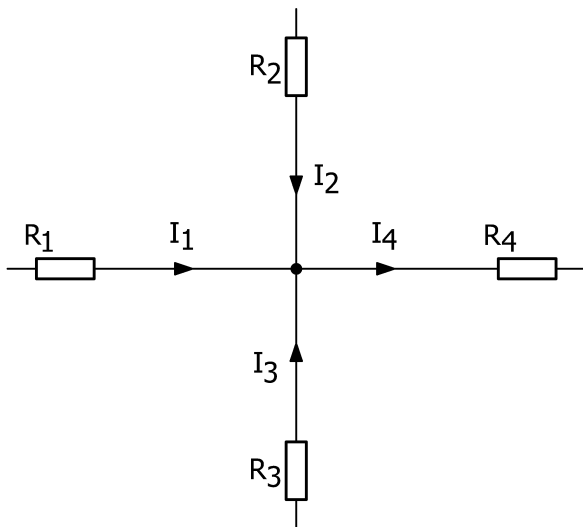
Egy áramköri csomópontba befolyó áramok algebrai összege nulla.

A csomópontok felé mutató nyilakkal jelzett áramértékeket pozitív előjellel, a csomópontból kifelé mutató nyilakkal jelzett áramértékeket pedig negatív előjellel vesszük számításba.

$$\sum_{i=0}^n I_i = 0$$

Más szavakkal fogalmazva, egy áramköri csomópontba befolyó áramerősségek összege egyenlő a csomópontot elhagyó áramerősségek összegével.

$$\sum_{i=0}^m I_{be_i} = \sum_{j=0}^k I_{ki_j}$$



2.2. ábra. Kirchhoff csomóponti törvényét szemléltető áramkör

A 2.2. ábrán látható áramkörészletben Kirchhoff csomópontokra vonatkozó törvényét a következőképpen írhatjuk fel:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4$$

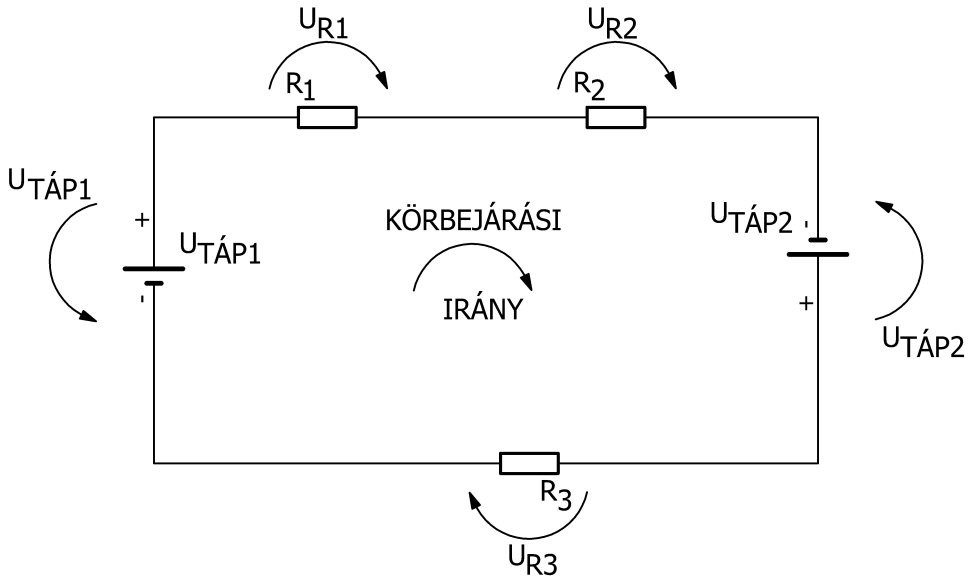
2.5. Kirchhoff zárt áramköri hurokra vonatkozó törvénye

Zárt áramköri hurkokban a feszültségek összege nulla. Azokat a feszültségeket, amelyeknek iránya a körbejárási iránnyal megegyeznek, pozitív előjellel, a körbejárási iránnyal ellentétes irányú feszültségeket pedig negatív előjellel vesszük számításba.

$$\sum_{i=0}^n U_i = 0$$

Más megfogalmazásban, egy zárt áramkört hurokban a feszültségesések összege egyenlő az elektromotoros feszültségek összegével.

$$\sum_{i=0}^m U_{R_i} = \sum_{j=0}^k U_j$$



2.3. ábra. Kirchhoff zárt áramkört hurokra vonatkozó törvényét szemléltető áramkör

A 2.3. ábrán látható áramkörben, figyelembe véve a kiválasztott körbejárási irányt, a huroktörvény a következőképpen írható fel:

$$U_{R1} + U_{R2} - U_{TAP2} + U_{R3} - U_{TAP1} = 0$$

$$U_{R1} + U_{R2} + U_{R3} = U_{TAP1} + U_{TAP2}$$

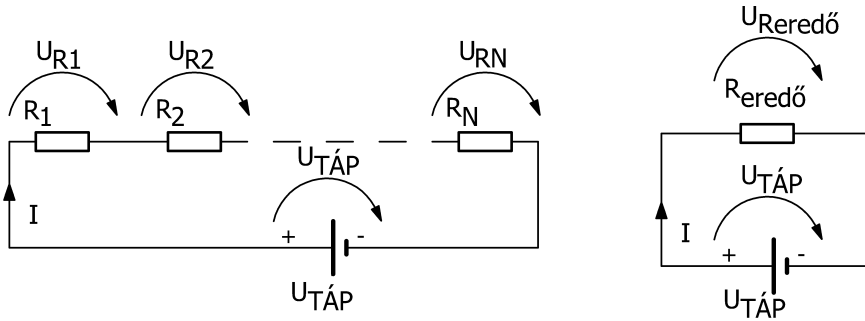
2.6. Ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása

Ellenállások soros kapcsolása

Több ellenállás soros kapcsolásakor az eredő ellenállás értéke egyenlő az egyes ellenállások értékeinek az összegével. N ellenállás esetében az eredő ellenállás értéke így számítható ki:

$$R_{eredo} = R_1 + R_2 + \dots + R_N$$

$$R_{eredo} = \sum_{i=1}^N R_i$$



2.4. ábra. Ellenállások soros kapcsolása

A sorba kapcsolt ellenállások mindegyikén ugyanaz az I áram folyik:

$$I = \frac{U}{R_{eredo}}$$

Ellenállások párhuzamos kapcsolása

Ellenállások párhuzamos kapcsolásakor mindenik ellenálláson ugyanaz a feszültség mérhető: $U_{R1} = U_{R2} = \dots = U_{RN}$. Az eredő ellenállást pedig az alábbi összefüggéssel számíthatjuk ki:

$$\frac{1}{R_{eredo}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

Sajátos esetben, ha két ellenállást (R_1, R_2) kapcsolunk párhuzamosan, az eredő ellenállás értéke: $R_{eredo} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, ha pedig a két ellenállás egyenlő értékű ($R_1 = R_2 = R$), akkor: $R_{eredo} = \frac{R}{2}$

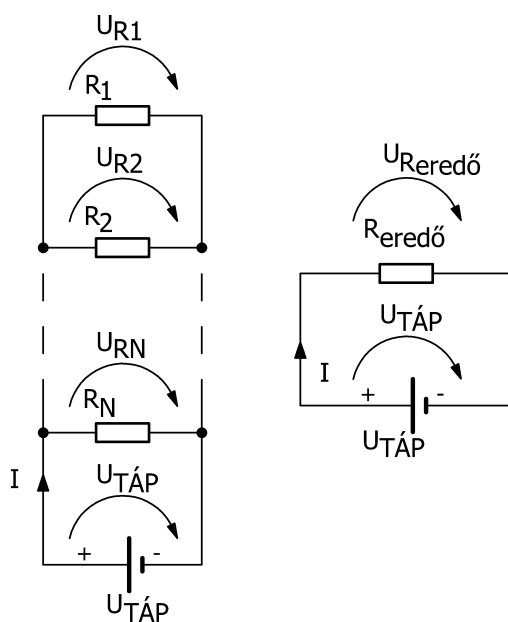
2.7. Feszültség és áramosztók

A feszültség és áramosztók az elektronikai kapcsolások között alapvető áramköröknek nevezhető egyszerű áramkörök: sorba, illetve párhuzamosan kapcsolt ellenállásokat tartalmaznak.

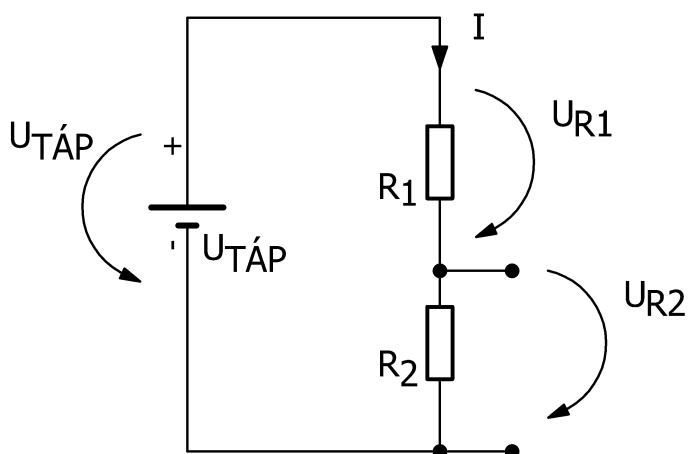
Feszültségosztó áramkör

A feszültségosztók két sorba kapcsolt ellenállásból épülnek fel, a 2.6. ábrán látható módon. Az áramkörben folyó I áram értéke: $I = \frac{U_{tap}}{R_1 + R_2}$

Az egyes ellenállásokon mérhető feszültségértékek arányosak az ellenállások értékeivel. A kimeneti (leosztott) feszültség értéke pedig:



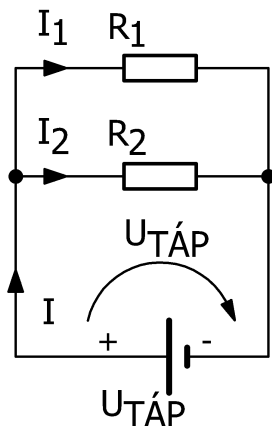
2.5. ábra. Ellenállások párhuzamos kapcsolása



2.6. ábra. Feszültségosztó áramkör

$$U_{R_2} = I \cdot R_2 = \frac{R_2 \cdot U_{táp}}{R_1 + R_2}$$

Áramosztó áramkör



2.7. ábra. Áramosztó kapcsolás

Az áramosztók két párhuzamosan kapcsolt ellenállást tartalmaznak. Szerkezetüket a 2.7. ábra szemlélteti. Az áramkörben folyó I_1 és I_2 (leosztott) áramerősségek értékeit az alábbi összefüggésekkel számíthatjuk ki:

$$I_1 = \frac{U_{táp}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{táp}}{R_2}$$

Az áramerősségek értékei fordítottan arányosak az ellenállások értékeivel.

2.8. A mérés menete

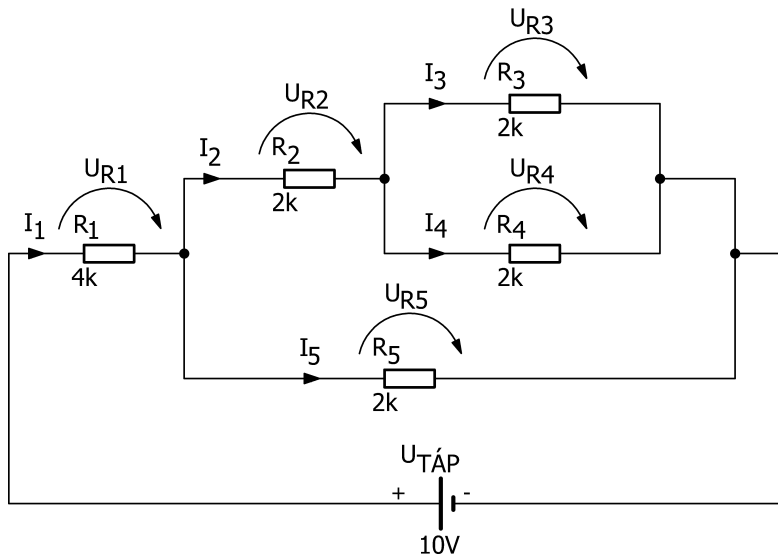
Állítsátok össze az alábbi áramkört.

Az R_1 , R_2 , R_3 , R_4 és R_5 dekadikus ellenállások.

Feladatok

Állítsátok be a 2.8. ábrán látható ellenállásértékeket és jegyezzétek le a 2.1. táblázat $R_{névleges}$ oszlopába, majd mérjétek meg ezeket Ohm-mérő segítségével, és jegyezzétek le a mért értékeket a 2.1. táblázat $R_{mért}$ oszlopába.

Számoljátok ki a kapcsolás eredő ellenállását, jegyezzétek le a 2.1. táblázat $R_{névleges}$ oszlopába, majd mérjétek meg Ohmmérő segítségével, és a mért értéket jegyezzétek le az $R_{mért}$ oszlopába.



2.8. ábra. A méréshez használt áramkör kapcsolási rajza

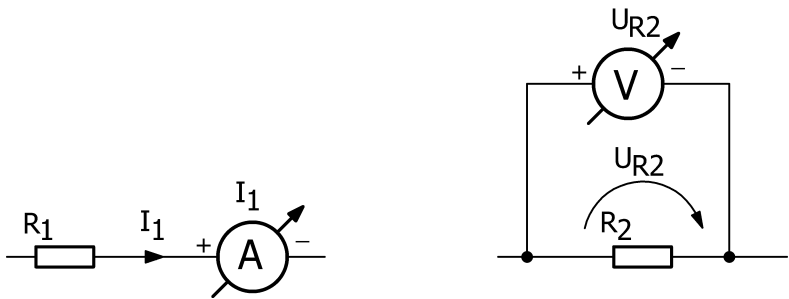
Számítsátok ki Ohm törvényét és Kirchhoff törvényeit használva az I_{R1} , I_{R2} , I_{R3} , I_{R4} és I_{R5} áramerősségek értékeit, majd jegyezzétek le a 2.2. táblázat $I_{számított}$ oszlopába.

Számítsátok ki az U_{R1} , U_{R2} , U_{R3} , U_{R4} és U_{R5} feszültségek értékeit, tudva, hogy az áramkör tápfeszültsége $U = 10V$, és foglaljátok az eredményeket a 2.3. táblázatba ($U_{számított}$).

Árammérőt és feszültségmérőt használva mérjétek meg az összes kiszámított áramerősség- és feszültségértéket, és töltsétek ki a 2.2. és 2.3. táblázatok $I_{mért}$ és $U_{mért}$ oszlopait.

Hasonlítsátok össze a számított és mért feszültségértékeket, illetve áramerősségeket.

A feszültségmérőt mindig az adott áramköri elemmel párhuzamosan, míg az árammérőt sorosan kell az áramkörbe kapcsolni a 2.9. ábrán látható módon, figyelve a polaritásra is.



2.9. ábra. Mérőműszerek bekötése

2.1. táblázat. Leolvasott és mért ellenállásértékek

R	$R_{névleges}[\Omega]$	$R_{mért}[\Omega]$
R_1		
R_2		
R_3		
R_4		
R_5		
$R_{eredő}$		

2.2. táblázat. Számított és mért áramerősség-értékek

I	$I_{számított}[mA]$	$I_{mért}[mA]$
I_1		
I_2		
I_3		
I_4		
I_5		

2.3. táblázat. Számított és mért feszültségértékek

U	$U_{\text{számított}}[\text{V}]$	$U_{\text{mért}}[\text{V}]$
U_1		
U_2		
U_3		
U_4		
U_5		

FÉLVEZETŐ DIÓDÁK

3.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja megismerni az egyenirányító diódák működését, megmérni és megrajzolni a diódák statikus átviteli jelleggörbáját, illetve megismerni az egyenesen és fordítottan polarizált kapcsolási üzemmódjukat. Ugyanakkor a gyakorlat fontos célja bemutatni a Zener-diódák feszültségstabilizáló tulajdonságát, megmérve és megrajzolva az átviteli karakteristikáját.

3.2. Szükséges eszközök

- félvezető diódák tanulmányozására fejlesztett didaktikai stand;
- 1N4007 típusú félvezető dióda és adatlapja;
- PL5V6Z típusú feszültségstabilizáló dióda és adatlapja;
- árammérő;
- feszültségmérő;
- dekadikus ellenállás;
- változtatható feszültségű táp (0 – 30 V).

3.3. Az egyenirányító dióda statikus átviteli jelleggörbéje

Az egyenirányító diódák statikus jelleggörbáját az alábbi ábra szemlélteti.

JELLEGGÖRBE

A jelleggörbe matematikai leírását az alábbi exponenciális egyenlet adja meg:

$$I = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{U_D}{U_T}\right) - 1 \right] = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot U_D}{m \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right]$$

$$U_T = \frac{m \cdot k \cdot T}{q}$$

Az egyenletben az alábbi jelöléseket használtuk:

- I_0 a dióda visszárama;
- U_D a diódán mért feszültség;
- U_T a termikus feszültség, szilíciumból készült dióda esetén, szobahőmérsékleten kb. 30 mV;
- q a töltésmennyiség;
- m anyagállandó;
- $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ a Boltzman-féle állandó;
- T az abszolút hőmérséklet Kelvin-fokban.

A jelleggörbe meghatározásához kétféle kapcsolást kell használnunk: egyenesen polarizált (nyitóirányban előfeszített) kapcsolást és fordítottan polarizált (záróirányban előfeszített) kapcsolást.

3.4. A mérés menete

Az egyenirányító dióda egyenesen polarizált (nyitóirányban előfeszített) kapcsolása

A dióda egyenesen polarizált kapcsolásánál (direkt polarizáció) a táp pozitív pólusa a dióda anódjához van kötve. Ilyenkor a dióda vezet és a ráeső U_D feszültség értéke 0,6 – 0,7 V a szilíciumból készült diódák esetében és 0,2 – 0,3 V a germániumból készült diódák esetében.

A dióda áramát az alábbi összefüggés adja meg, mivel a visszaram elhanyagolható a dióda I_D áramához képest.

$$I = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{U_D}{U_T}\right) \right] = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot U_D}{m \cdot k \cdot T}\right) \right]$$

Ebben az áramkörben a diódán átfolyó áramerősség értéke az alábbi módon számítható ki:

$$I_D = I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{U_{TAP} - U_D}{R} = \frac{U_{TAP} - 0,6 \text{ V}}{R}$$

Az ellenálláson eső feszültséget az alábbi összefüggés adja meg:

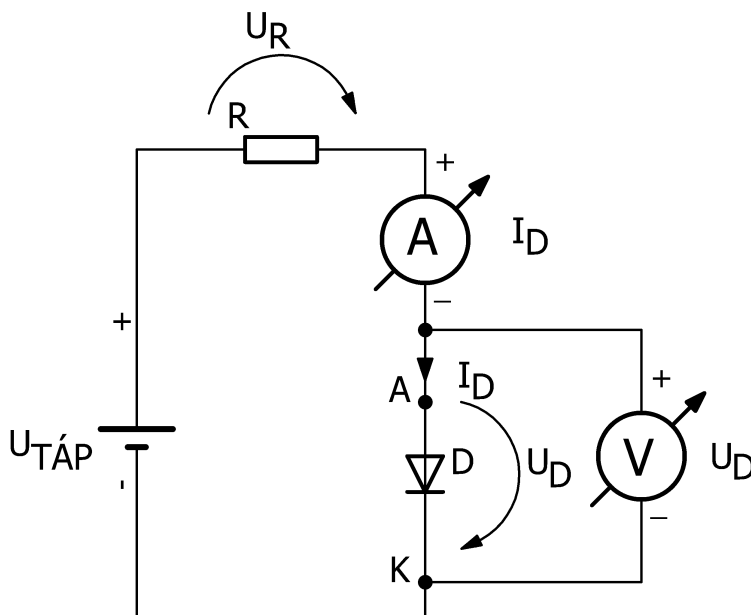
$$U_R = U_{TAP} - U_D$$

Állítsátok össze a 3.1. ábrán látható áramkört, azután végezzétek el és foglaljátok a 3.1. táblázatba a mérési eredményeket.

Az egyenirányító dióda fordítottan polarizált (záróirányban előfeszített) kapcsolása

A dióda fordítottan polarizált kapcsolásánál (inverz polarizáció) a táp negatív pólusa a dióda anódjához van kötve (3.2. ábra). Ilyenkor a dióda nem vezet, a rajta átfolyó áramerősség, I_0 , a dióda visszáramával egyenlő és μA nagyságrendű. Ez az érték legtöbbször elhanyagolható.

Állítsátok össze a 3.2. ábrán látható áramkört, majd végezzétek el a méréseket és foglaljátok a 3.2. táblázatba a mérési eredményeket. A mérés



3.1. ábra. Az egyenirányító dióda egyenesen polarizált (nyitóirányban előfeszített) kapcsolása

során az U_{TAP} tápfeszültség értékét a 3.2. táblázatba foglalt értékek alapján változtatva, mérjétek a dióda feszültségét (U_D) és a dióda áramát (I_D), illetve számítsátok ki az ellenálláson eső U_R feszültséget.

A mérési adatok alapján rajzoljátok meg a dióda statikus átviteli jelleggörbéjét: $I_D = f(U_D)$ (mindkét polarizáció mérési adatait ugyanarra a grafikonra rajzoljátok).

$U_{TAP} = 5V$ esetén számítsátok ki az U_R és I_D értékeket, és hasonlítsátok össze a mért adatokkal.

3.5. A Zener-dióda átviteli jelleggörbéje

A Zener-diódák egyenesen polarizált (nyitóirányban előfeszített) kapcsolásban ugyanúgy működnek, mint az egyenirányító diódák. Ebben az esetben a 3.3. táblázatba foglalt értékek szerint kell megmérni a diódán átfolyó áramerősség, illetve a diódán eső feszültség értékeit.

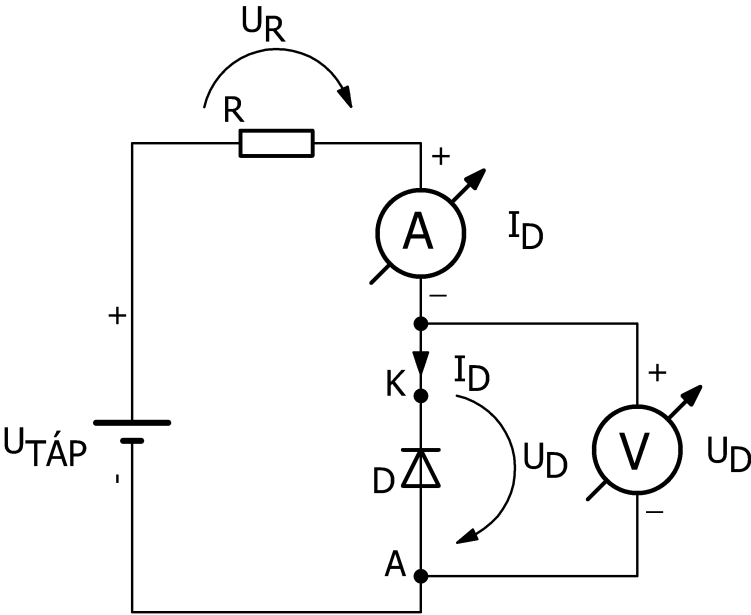
3.1. táblázat. A dióda egyenesen polarizált kapcsolásának mérési eredményei

$U_{TAP}[V]$	$U_D[V]$	$I_D[mA]$	$U_R[V]$
0			
0,1			
0,2			
0,3			
0,4			
0,5			
0,6			
0,7			
0,8			
0,9			
1			
2			
3			
4			
5			

Fordítottan polarizált (záróirányban előfeszített) kapcsolás esetén a Zener-diódák feszültségstabilizálásra használhatók, mivel a karakterisztikájuk nagyon meredek (nagy áramváltozás esetén csak kis feszültségváltozást mutatnak).

Állítsátok össze a 3.3. ábrán látható áramkört, utána végezzétek el a méréseket és foglaljátok a 3.3. táblázatba a mérési eredményeket. A mérési adatok alapján rajzoljátok meg a Zener-dióda statikus átviteli jelleggörbét: $I_{DZ}=f(U_{DZ})$.

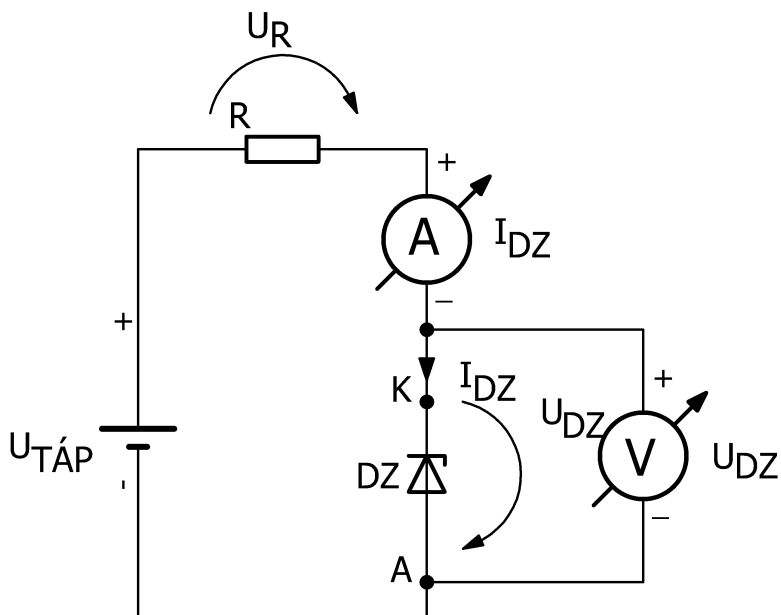
A kapcsolási rajz alapján, $U_{TAP}=5\text{ V}$ esetén számítsátok ki az R ellenállás értékét úgy, hogy a Zener-diódán átfolyó áram $I_{DZ}=10\text{ mA}$ legyen.



3.2. ábra. Az egyenirányító dióda fordítottan polarizált (záróirányban előfeszített) kapcsolása

3.2. táblázat. A dióda fordítottan polarizált kapcsolásának mérési eredményei

$U_{TAP}[V]$	$-U_D[V]$	$-I_D[mA]$	$U_R[V]$
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			



3.3. ábra. A Zener-dióda bekötése

3.3. táblázat. A Zener-diódával végzett mérés eredményei

$U_{TAP}[V]$	$-U_{DZ}[V]$	$-I_{DZ}[mA]$	$U_R[V]$
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

EGYENIRÁNYÍTÁS

4.1. A gyakorlat célja

Az előbbi gyakorlaton tapasztalhattuk az egyenirányító dióda azon alapvető jellemzőjét, miszerint az elektromos áramot csak egy irányba vezeti, azaz az anódtól a katód felé. Jelen gyakorlaton alkalom nyílik a dióda egyik legelterjedtebb alkalmazásának, az egyenirányításnak a tanulmányozására. Másodlagos cél megismerni az egyenfeszültségű tápegységek tömbvázlatát és alkotóelemeit. Nem elhanyagolható célkitűzés az elektronikus oszcilloszkóp használatának az elsajátítása sem.

4.2. Szükséges eszközök

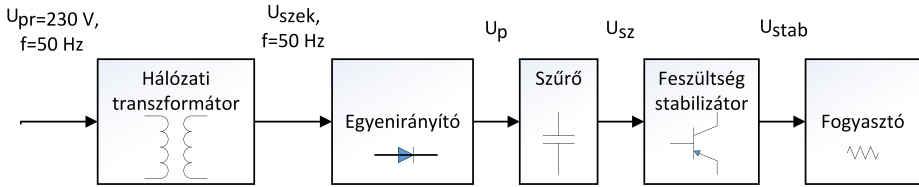
- egyenirányítás tanulmányozására fejlesztett didaktikai laborstand;
- hálózati transzformátor;
- elektronikus oszcilloszkóp;
- dekadikus ellenállás.

4.3. Egyenfeszültségű tápegységek

Az elektronikus berendezések általában egy vagy több egyenfeszültséget igényelnek a működéshez. Nagyobb teljesítményigénynél az elemek vagy akkumulátorok használata nem gazdaságos, ilyenkor az egyenfeszültséget hálózati transzformátorral és egyenirányítóval állítjuk elő. Az így előállított egyenfeszültségnek rendszerint pulzáló jellege lesz, ennek simítására kapacitív szűrést alkalmazunk, majd a feszültséget stabilizáljuk.

A 4.1. ábra egy egyenfeszültségű tápegység tömbvázlatát mutatja be.

Az ábrán végigkövethető az a folyamat, amely során a hálózati transzformátor primer tekercsére kapcsolt 230 V effektív értékű és 50 Hz frekvenciájú U_{pr} szinuszosan váltakozó feszültséget először csökkentjük egy U_{szek}



4.1. ábra. Egyenfeszültségű tápegység tömbvázlata

értékű ugyancsak váltakozó szekunder feszültségre, majd ezt egyenirányítva az U_p pulzáló feszültséget kapjuk. Szűrőkondenzátorral simítjuk, megkapva az U_{sz} szűrt feszültséget végül stabilizáljuk. A stabilizált U_{stab} feszültség kerül a fogyasztóhoz.

4.4. A hálózati transzformátor

A hálózati transzformátorok két tekercsből (primer és szekunder) épülnek fel. Egyezményes jelölésüket a 4.2. ábra szemlélteti.

A primer és a szekunder tekercs feszültségei az egyes tekercsek menetszámaival arányosak.

$$U_{szek} = \frac{N_{szek}}{N_{pri}} \cdot U_{pri}$$

- N_{szek} a szekunder tekercs menetszáma;
- N_{pri} a primer tekercs menetszáma.

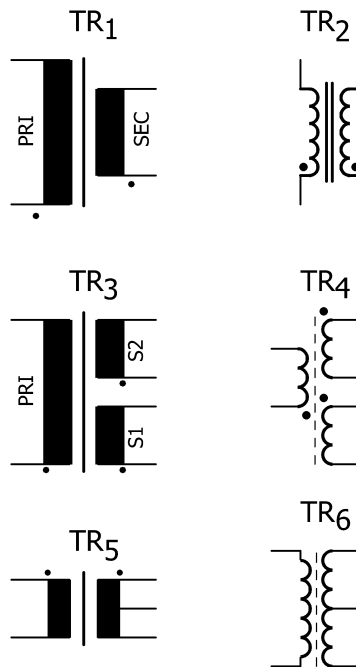
Három különböző típusú transzformátort különböztethetünk meg:

- $U_{pri} > U_{szek}$ feszültségcsökkentő transzformátorok;
- $U_{pri} < U_{szek}$ feszültségnövelő transzformátorok;
- $U_{pri} = U_{szek}$ galvanikusan leválasztó transzformátorok.

4.5. Egyenirányítók

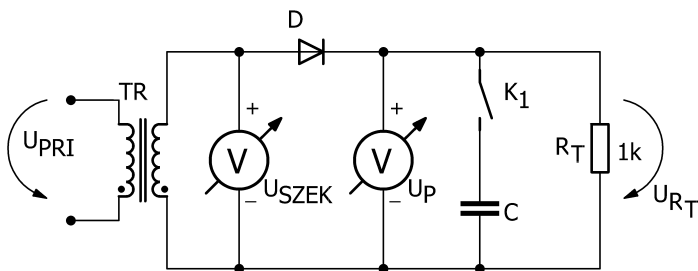
4.6. Egyutas egyenirányítók

Valósítsátok meg a 4.3. ábrán látható kapcsolást (a standon található K_2 kapcsolót 1-es pozícióba helyezve), jelenítsétek meg az oszcilloszkópon az U_{szek} szekunder és az U_p pulzáló kimeneti feszültségeket, mérjétek meg



4.2. ábra. A transzformátorok egyezményes jelölései

a feszültségeket, és ábrázolják grafikusan a jelformákat egymás alá a 4.6. ábra szerint.



4.3. ábra. Egyutas egyenirányító

Tanulmányozzátok a K_1 kapcsoló által az áramkörbe beköthető szűrőkondenzátor hatását a kimeneti egyenfeszültségre.

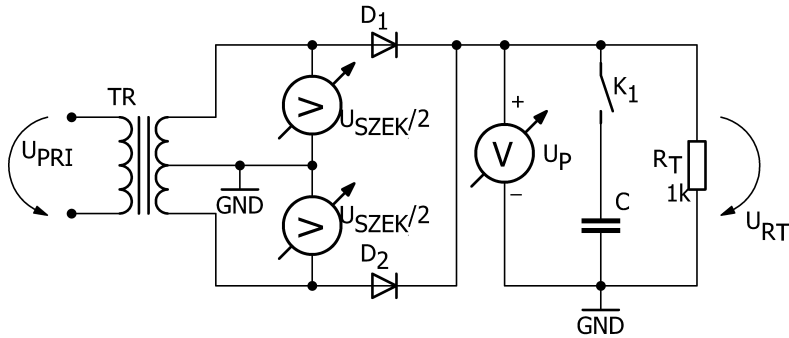
Az R_T terhelő ellenállás értéke $1\text{ k}\Omega$.

Számítsátok ki az alábbi értékeket:

- a pulzáló feszültség csúcsértéke: $U_{p-cs} = U_{szek-cs} - 0,7\text{ V}$;
- a pulzáló feszültség középértéke: $U_{p-k} = U_{p-cs}/\pi$;
- maximális zárófeszültség: $U_{R-cs} = U_{szek-cs}$;
- maximális diódaáram: $I_{D-cs} = I_{RT}$.

4.7. Kétutas egyenirányítók középleágazásos kapcsolással

Valósítsátok meg a 4.4. ábrán bemutatott kapcsolást, jelenítsétek meg az oszcilloszkópon az U_{szek} szekunder és az U_p pulzáló kimeneti feszültségeket, mérjétek meg a feszültségeket, és ábrázoljátok grafikusán a jelformákat egymás alá a 4.6. ábra szerint.



4.4. ábra. Kétutas egyenirányító középleágazásos kapcsolással

Az R_T terhelő ellenállás értéke $1\text{ k}\Omega$.

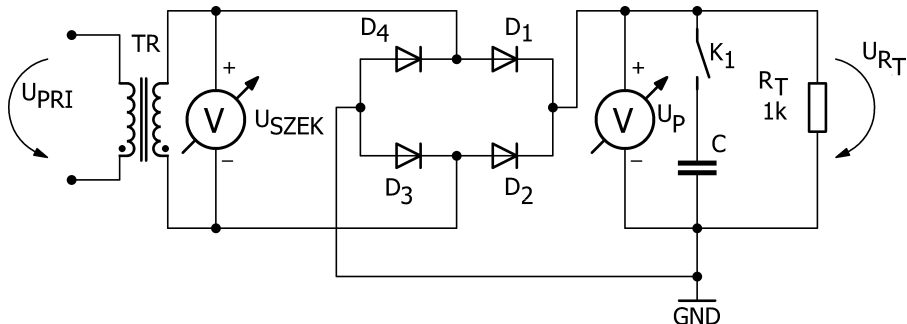
Tanulmányozzátok a K_1 kapcsoló által az áramkörbe beköthető szűrőkondenzátor hatását a kimeneti egyenfeszültségre.

Számítsátok ki az alábbi értékeket:

- pulzáló feszültség csúcsértéke: $U_{p-cs} = \frac{U_{szek-cs}}{2} - 0,7\text{ V}$;
- pulzáló feszültség középértéke: $U_{p-k} = 2 \cdot \frac{U_{p-cs}}{\pi}$;
- maximális zárófeszültség: $U_{R-cs} = 2 \cdot U_{p-cs} + 0,7\text{ V}$;
- maximális diódaáram: $I_{D-cs} = \frac{I_{RT}}{2}$.

4.8. Kétutas egyenirányítók Graetz-hidas kapcsolás

Valósítsátok meg a 4.5. ábrán található kapcsolást (a standon található K_2 kapcsolót 2-es pozícióba helyezve), jelenítsétek meg az oszcilloszkópon az U_{szek} szekunder és az U_p pulzáló kimeneti feszültségeket, mérjétek meg a feszültségeket, és ábrázoljátok grafikusán a jelformákat egymás alá a 4.6. ábra szerint.



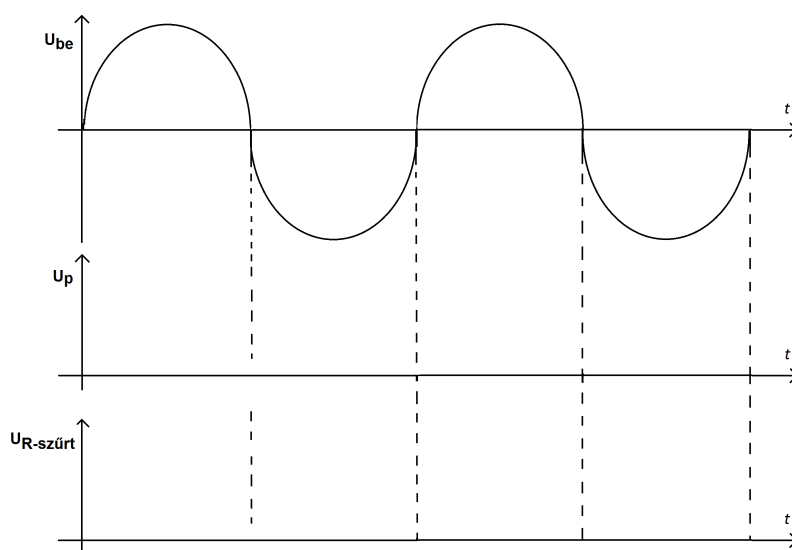
4.5. ábra. Graetz-hidas egyenirányító kapcsolási rajza

Tanulmányozzátok a K_1 kapcsoló által az áramkörbe beköthető szűrő-kondenzátor hatását a kimeneti egyenfeszültségre.

Az R_T terhelő ellenállás értéke $1\text{ k}\Omega$.

Számítsátok ki az alábbi értékeket:

- pulzáló feszültség csúcscértéke: $U_{p-cs} = U_{szek-cs} - 1,4\text{ V}$;
- pulzáló feszültség középértéke: $U_{p-k} = 2 \cdot \frac{U_{p-cs}}{\pi}$;
- maximális zárófeszültség: $U_{R-cs} = 2 \cdot U_{p-cs} + 0,7\text{ V}$;
- maximális diódaáram: $I_{D-cs} = \frac{I_R}{2}$;
- bűgófeszültség: $U_{B-cs-cs} = \frac{U_{p-cs}}{f \cdot R \cdot C}$;
- hullámzási tényező: $r = \frac{U_{B-cs-cs}}{U_{R-k}}$.



4.6. ábra. A mérési eredmények grafikus ábrázolási módja

BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK JELLEGGÖRBÉI

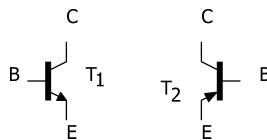
5.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja megismerni a bipoláris tranzisztorok felépítését, működését, illetve megmérni és megrajzolni az átviteli és a kimeneti karakterisztikájukat. Ugyanakkor fontos cél a tranzisztorok telítési, aktív és zárási üzemmódjainak a tanulmányozása.

5.2. Szükséges eszközök

- bipoláris tranzisztorok tanulmányozására kifejlesztett didaktikai laborstand;
- BC547 típusú bipoláris tranzisztor adatlapja;
- 2 db feszültségmérő;
- 2 db árammérő;
- 2 db 0 – 10 V között változtatható feszültségforrás.

A bipoláris tranzisztorok olyan aktív félvezető eszközök, amelyek segítségével elektromos jelek erősíthetők vagy kapcsolhatók. A tranzisztorok gyártásához leggyakrabban használt félvezetők a szilícium (Si) és a germánium (Ge). Két bipoláris tranzisztortípust különböztethetünk meg: npn (T_1) és pnp (T_2). Az 5.1. ábrán látható a két típusú tranzisztor egyezményes áramköri jelölése.



5.1. ábra. A bipoláris tranzisztorok egyezményes áramköri jelölése

A tranzisztorok három végződése (terminál) és lábkiosztása is látható az 5.2. ábrán: B – bázis, C – kollektor, E – emitter.



5.2. ábra. A bipoláris tranzisztorok láb kiosztása

A tranzisztorok első megközelítésben egy bázisból vezérelt kapcsolóként működnek. Ha nincs vezérlőjelük a bázisban, akkor nem engedélyezik az áram áthaladását a kollektor irányából az emitter irányába. Ekkor záró üzemmódban vannak. Ha pedig vezérlést kapnak a bázisukba, akkor nyitnak vagy telítődnek, és átfolyhat az elektromos áram a kollektor irányából az emitter irányába.

Egy jobb megközelítésben a tranzisztorokat egy vízcsaphoz lehetne hasonlítani. Ebben az esetben a bázis játszaná a vezérlő szerepet. Ha a csap el van zárva, nem folyhat át víz rajta, és analóg módon a tranzisztor záró üzemmódban van és nem vezeti át az elektromos áramot. Ha a csap teljesen ki van nyitva, maximális hozammal folyhat keresztül rajta a víz. Ekkor analóg módon a tranzisztor telített üzemmódban dolgozik, ilyenkor az I_C kollektor áram maximális értékű ($I_{C_{\max}}$ – telítési áram). Ha a csap egy közbeeső állapotban található, akkor a rajta átfolyó víz mennyisége attól függ, hogy mennyire van megnyitva. Ugyanígy a tranzisztoron áthaladó elektromos áram (I_C) is függ a vezérlő bázisáramtól (I_B). Ezt az üzemmódot aktív (erősítési) üzemmódnak nevezik, és ekkor értelmezhető a tranzisztorok áramerősítési tényezője: $\beta = \frac{I_C}{I_B}$.

Az áramerősítési tényező a tranzisztorok katalógusadata. A fenti összefüggésből látható, hogy az erősítési üzemmódban a tranzisztorok áramátviteli karakterisztikája lineárisnak tekinthető.

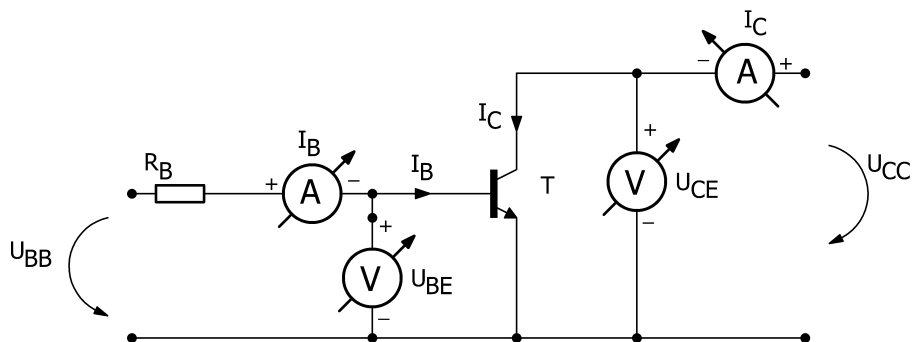
5.3. A mérés menete

A bipoláris tranzisztorok átviteli karakterisztikája ($I_C = f(U_{BE})$)

A bipoláris tranzisztorok átviteli karakterisztikája exponenciális, akár a diódák átviteli jelleggörbéje. Az I_C kollektoráram értékét az alábbi összefüggés adja meg:

$$I_C = I_S \cdot \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right)$$

A mérés elvégzése előtt állítsátok be a tápegységek áramkorlátját $I_{\max} = 200 \text{ mA}$ értékre. Ez az érték a tranzisztor adatlapjában előírt legnagyobb megengedett érték.



5.3. ábra. A bipoláris tranzisztorok jelleggörbéinek mérésére használt áramkör

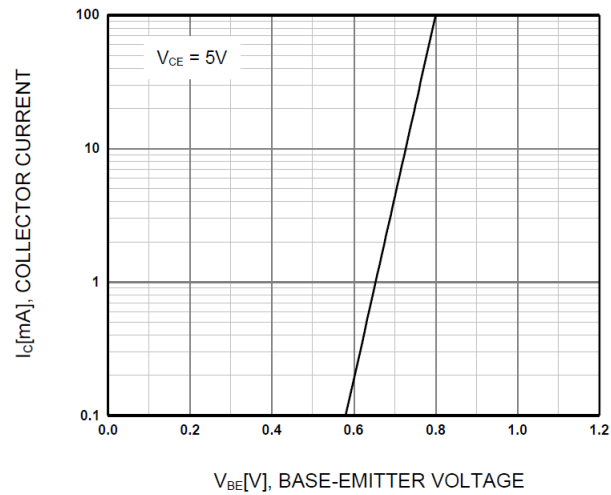
Állítsátok össze az 5.3. ábrán látható kapcsolást. Állítsátok be az U_{CE} feszültséget 1 V értékre. Változtassátok az U_{BB} feszültséget úgy, hogy az U_{BE} feszültség sorra felvegye az 5.1. táblázatban levő értékeket. Közben egy árammérő segítségével mérjétek az I_C kollektoráram értékét.

Ismételjétek meg a méréseket $U_{CE} = 5 \text{ V}$ értékre is. A mérési adatokat foglaljátok az 5.1. táblázatba. A táblázatba foglalt értékek alapján rajzoljátok meg az $I_C = f(U_{BE})$ görbéket ugyanarra a grafikonra, és hasonlítsátok össze az 5.4. ábrán látható karakterisztikával.

A bipoláris tranzisztorok kimeneti jelleggörbeserege $I_C = f(U_{CE}, I_B)$

Állandó I_B bázisáram mellett változtassátok az U_{CE} feszültséget úgy, hogy az felvegye az 5.2. táblázatba foglalt értékeket. Párhuzamosan olvassátok le az I_C kollektoráramot. Ismételjétek meg a méréseket a három különböző I_B bázisáram esetén. Megfigyelhető, hogy az I_C kollektoráram egy meghatározott értéken felül csak kismértékben függ az U_{CE} feszültségtől. Ezt az áramot telítési áramnak nevezzük (I_S).

Ábrázoljátok a táblázatba foglalt értékek alapján ugyanabban a koordináta-rendszerben az $I_{C1} = f(U_{CE}, I_{B1})$, $I_{C2} = f(U_{CE}, I_{B2})$ és az I_{C3}

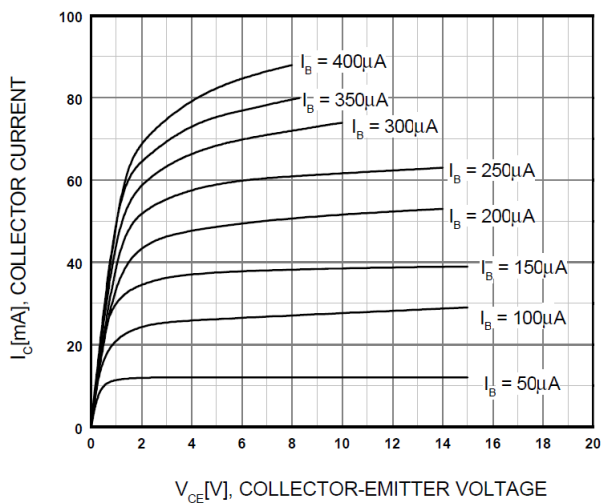


5.4. ábra. A bipoláris tranzisztorok átviteli jelleggörbéje

$= f(U_{CE}, I_{B3})$ görbékét, feltüntetve az I_{S1} , I_{S2} , I_{S3} telítési áramokat, majd hasonlítsátok össze a grafikont az 5.5. ábrán található jelleggörbesereggel.

5.1. táblázat. A bipoláris tranzisztor átviteli jelleggörbéjének mérési eredményei

$U_{BE}[\text{mV}]$	$I_C[\text{mA}],$ $U_{CE} = 1 \text{ V}$	$I_C[\text{mA}],$ $U_{CE} = 5 \text{ V}$
0		
100		
200		
300		
400		
500		
550		
600		
650		
700		
750		



5.5. ábra. A bipoláris tranzisztorok kimeneti jelleggörbeserege

5.2. táblázat. A bipoláris tranzisztor kimeneti jelleggörbájének mérési eredményei

U_{CE} [V]	I_{C1} [mA], $I_{B1} = 50 \mu A$	I_{C2} [mA], $I_{B2} = 150 \mu A$	I_{C3} [mA], $I_{B3} = 300 \mu A$
0			
0,25			
0,55			
0,75			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK KAPCSOLÓ ÜZEMMÓDJA

6.1. A gyakorlat célja

A bipoláris tranzisztorok kapcsoló üzemmódban való működését egyszerű logikai kapukat megvalósító áramkörök segítségével lehet tanulmányozni. A logikai igaz és hamis értékekhez két feszültségszintet rendelünk hozzá: hamis = 0V, illetve igaz = +5V. A gyakorlat célja megismerni a tranzisztorok telített és zárt üzemmódját.

6.2. Szükséges eszközök

- bipoláris tranzisztorok tanulmányozására fejlesztett laboratóriumi stand;
- BC547 típusú bipoláris tranzisztor adatlapja;
- egyenfeszültségű feszültségforrás (5V);
- feszültségmérő.

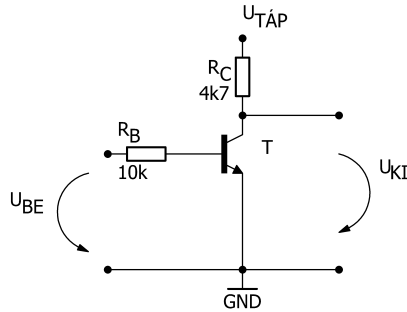
6.3. A mérés menete

Valósítsátok meg az alábbi logikai kapcsolásokat, szimuláljátok az áramkörök működését számítógépes környezetben és ellenőrizték az igazságtáblázatukat. A tranzisztorok két üzemmódban dolgoznak: vagy telítettek, vagy zárnak.

6.4. A logikai NEM kapcsolás

A logikai NEM kapcsolás áramköri rajzát a 6.1. ábra szemlélteti.

A tranzisztor közös (földelt) emitteres kapcsolásban működik. Ha van vezérlőjel a bázisában, akkor nyit, és a kimenetet alacsony logikai állapotba kényszeríti. Amennyiben a bázis-emitter feszültség 0 V, a kimeneti feszültség egyenlő a tápfeszültséggel.



6.1. ábra. A logikai NEM áramkört megvalósító kapcsolás

Az áramkör működését igazságtáblázat segítségével elemezhetjük. Az igazságtáblázatot logikai értékekkel és feszültségértékekkel a következőképpen lehet felírni:

6.1. táblázat. A logikai NEM kapcsolás igazságtáblázata

x	\bar{x}
0	1
1	0

Állítsátok össze a 6.1. ábrán található áramkört, és ellenőrizzék a működését. A kimeneti feszültség értékét minden esetben feszültségmérő segítségével mérjétek meg. Szimuláljátok az áramkör működését Circuit Maker alkalmazás segítségével.

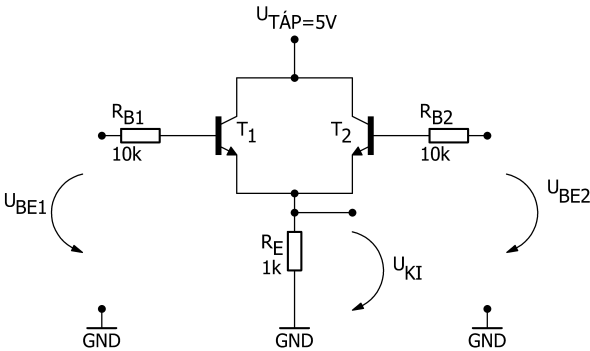
6.5. A logikai VAGY kapcsolás

A logikai VAGY kapcsolás áramköri rajzát a 6.2. ábra szemlélteti.

6.2. táblázat. A logikai NEM kapcsolás igazságtáblázata feszültségértékekkel kifejezve

$U_{BE}[V]$	$U_{KI}[V]$	$U_{KI-mért}[V]$
0V	5V	
5V	0V	

A két tranzisztor párhuzamosan van kötve. Amennyiben valamelyik közülük vezet, az emitter ellenálláson mért kimeneti feszültség logikai magas szintnek felel meg.



6.2. ábra. A logikai VAGY áramkört megvalósító kapcsolás

Az áramkör igazságtáblázatát logikai értékekkel és feszültségértékekkel a következőképpen lehet felírni:

6.3. táblázat. A logikai VAGY kapcsolás igazságtáblázata

x_1	x_2	x_1+x_1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

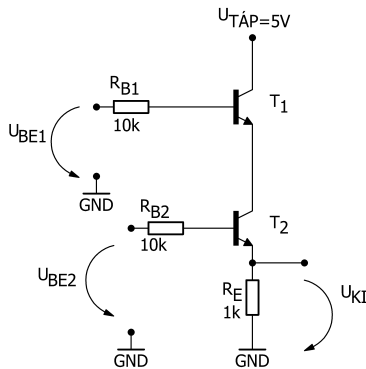
6.4. táblázat. A logikai VAGY kapcsolás igazságtáblázata feszültségértékekkel kifejezve

$U_{BE1}[V]$	$U_{BE2}[V]$	$U_{KI}[V]$	$U_{KI-mért}[V]$
0V	0V	0V	
0V	5V	5V	
5V	0V	5V	
5V	5V	5V	

Circuit Maker alkalmazás segítségével szimuláljátok az áramkör működését, majd állítsátok össze az áramkört és ellenőrizték a működését. A kimeneti feszültség értékét minden esetben feszültségmérő segítségével mérjétek meg.

6.6. A logikai ÉS kapcsolás

A logikai ÉS kapcsolás áramköri rajzát a 6.3. ábra szemlélteti. Itt a két tranzisztor sorba van kapcsolva. Az emitter ellenálláson csak akkor folyhat áram, amennyiben mindkét tranzisztor vezet.



6.3. ábra. A logikai ÉS áramkört megvalósító kapcsolás

Az áramkör igazságtáblázatát logikai értékekkel és feszültségértékekkel a következőképpen lehet felírni:

6.5. táblázat. A logikai ÉS kapcsolás igazságtáblázata

x_1	x_2	$x_1 + x_2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

6.6. táblázat. A logikai ÉS kapcsolás igazságtáblázata feszültségértékekkel kifejezve

U_{BE1}	U_{BE2}	U_{KI}	$U_{KI-mért}$
0V	0V	0V	
0V	5V	0V	
5V	0V	0V	
5V	5V	5V	

Circuit Maker alkalmazás segítségével szimuláljátok az áramkör működését, majd állítsátok össze az áramkört és ellenőrizzék a működését. A kimeneti feszültség értékét minden esetben feszültségmérő segítségével ellenőrizzék.

FESZÜLTSGSTABILIZÁTOROK

7.1. A gyakorlat célja

Az elektronikus áramkörök táplálásához egyenfeszültség szükséges.

A tápláló egyenfeszültség stabil kell legyen a hálózati feszültség változása, a terhelőáram változása és a hőmérséklet-ingadozás következtében fellépő hatások ellenére is.

Az előző laboratóriumi gyakorlatban bemutatott egyenirányítók sokszor még szűrve sem felelnek meg az elvárt követelményeknek. Ezért egy egyenfeszültségű tápegység tömbvázlatában az utolsó tömb a feszültségstabilizátor.

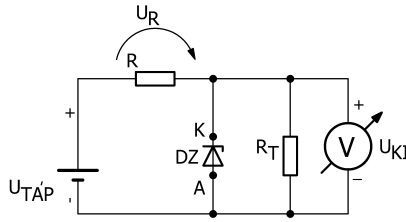
A gyakorlat célja bemutatni a parametrikus és a soros áteresztő szabályzós feszültségstabilizátorok működési elvét. Ugyanakkor fontos cél megismertetni a modern integrált feszültségstabilizátorok alkalmazását is.

7.2. Szükséges eszközök

- feszültségstabilizátorok tanulmányozására kifejlesztett laborstand;
- LM 7805 típusú integrált feszültségstabilizátor és adatlapja;
- egyenfeszültségű tápforrás;
- dekadikus terhelő ellenállás;
- feszültségmérő.

7.3. Parametrikus feszültségstabilizátor

Az egyik legegyszerűbb feszültségstabilizátor a parametrikus stabilizátor. Ez a stabilizátor a Zener-diódák fordítottan polarizált kapcsolására épül. A stabilizált feszültség értékét a Zener-dióda névleges feszültségértéke adja. A kimeneti feszültség így fix értékű. A kapcsolási rajzot a 7.1. ábra szemlélteti.



7.1. ábra. A parametrikus feszültségstabilizátor kapcsolási rajza

Az áramkör tesztelése végett változtassátok a bemeneti feszültség értékét (U_{BE}) úgy, hogy felvegye a 7.1. táblázatban szereplő értékeket. Feszültségmérő segítségével mérjétek és jegyezzétek le a kimeneti feszültség értékét (U_{KI}) három különböző terhelő ellenállás értékre: $R_T = 1\text{ k}\Omega$, $R_T = 10\text{ k}\Omega$, $R_T = 100\text{ k}\Omega$.

7.1. táblázat. A parametrikus feszültségstabilizátor mérési adatai

$U_{BE}[\text{V}]$	$U_{KI}[\text{V}],$ $R_T=1\text{ k}\Omega$	$U_{KI}[\text{V}],$ $R_T=10\text{ k}\Omega$	$U_{KI}[\text{V}],$ $R_T=100\text{ k}\Omega$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

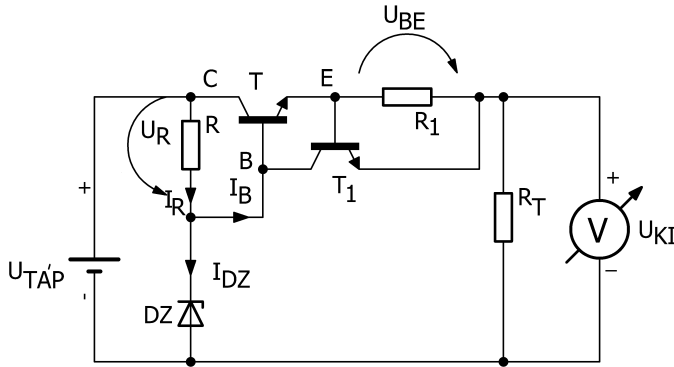
Ábrázoljátok grafikusan a kimeneti feszültség (U_{KI}) változását a bemeneti feszültség (U_{BE}) függvényében ugyanarra a grafikonra.

7.4. Soros áteresztő szabályzós stabilizátor

Ugyancsak egy egyszerű, fix értékű feszültségstabilizátort mutat be a 7.2. ábra. A tranzisztor emitterkövető kapcsolásban működik és szabályozó szerepet tölt be. A tranzisztor bázisa egy referencia-feszültségforráshoz van kapcsolva. A referencia-feszültségforrás szerepét az előző fejezetben bemutatott Zener-diódás kapcsolás tölti be. A kimeneti feszültség:

$$U_{KI} = U_{DZ} - U_{BE}$$

$U_{KI} = U_{DZ} - 0,6 \text{ V}$ szilíciumból készült tranzisztor esetén.



7.2. ábra. A soros áteresztő szabályzós feszültségstabilizátor kapcsolási rajza

A 7.2. ábra esetén az R ellenállás értékét a következő összefüggéseket felhasználva határozhatjuk meg:

$$I_R = I_B + I_{DZ}, \text{ de } I_B \ll I_R \text{ (tehát } I_B \text{ elhanyagolható)}$$

$$\text{így: } I_R = I_{DZ}$$

$$U_{TAP} = U_R + U_{DZ}$$

$$U_R = U_{TAP} - U_{DZ}$$

$$I_R = \frac{U_{TAP} - U_{DZ}}{R}$$

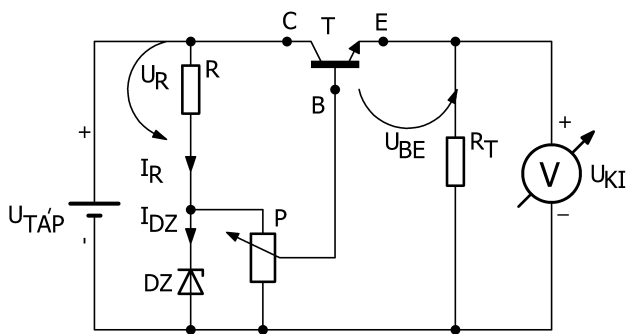
A méréseket az előbbi gyakorlathoz hasonlóan végezzük: változtatjuk a bemeneti feszültséget úgy, hogy felvegye a táblázatban szereplő értékeket, és lejegyezzük minden esetben a kimeneti feszültség értékét.

Változtatható kimeneti feszültséget kaphatunk, ha a referenciafeszültséget potenciométerrel leosztjuk a 7.3. ábrán látható módon.

Ábrázoljátok grafikusán a kimeneti feszültség változását a bemeneti feszültség függvényében ($U_{ki} = f(U_{TAP})$).

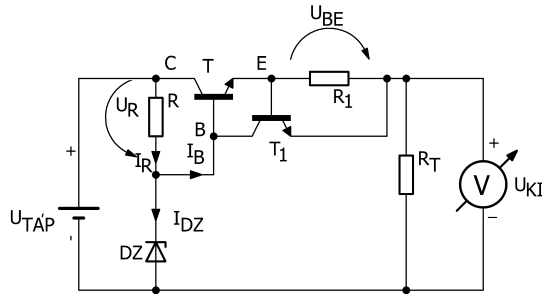
7.2. táblázat. A soros áteresztő szabályzós feszültségstabilizátor mérési adatai

$U_{BE}[V]$	$U_{KI}[V],$ $R_T=1\text{ k}\Omega$	$U_{KI}[V],$ $R_T=10\text{ k}\Omega$	$U_{KI}[V],$ $R_T=100\text{ k}\Omega$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			



7.3. ábra. Változtatható kimeneti feszültségű feszültségstabilizátor kapcsolási rajza

A 7.2. ábrán bemutatott feszültségstabilizátort egy tranzisztor (T_1) segítségével védhetjük rövidzárlat esetén. A kapcsolási rajzot a 7.4. ábra mutatja be.



7.4. ábra. Rövidzárlat-védelem

Az elvárás az, hogy egy adott kimeneti áramerősség felett (I_{ki-max}) a stabilizálásra használt T tranzisztor bázisáramát a T_1 rövidzárlat-védelmet nyújtó tranzisztor vezeti el. Így a T tranzisztor kezd zárni és egyre kevesebb áramot vezet. Ez annyit jelent, hogy a kimeneti áram maximális értéke esetén a T_1 tranzisztor bázis-emitter feszültsége (U_{BE}) eléri a 0,6 V értéket. Ekkor T_1 nyit és csökken a T tranzisztor bázisárama.

$$U_{TAP} = I_{ki-max} \cdot R_1$$

Így az általunk megválasztott kimeneti áramerősség értéke határozza meg az R_1 ellenállás értékét:

$$R_1 = \frac{U_{BE}}{I_{ki-max}} = \frac{0,6 \text{ V}}{I_{ki-max}}$$

Az ellenállás teljesítményét az alábbi összefüggéssel számíthatjuk ki:

$$P = U_{BE} \cdot I_{ki-max}$$

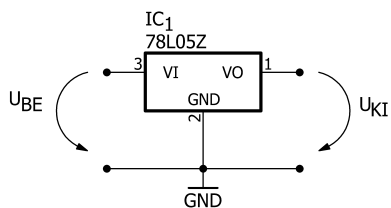
7.5. Integrált feszültségstabilizátorok

Az integrált stabilizátorok nagy választékban kaphatók, általában 5V és 24 V közötti értékek között. Vannak változtatható kimeneti feszültségű stabilizátorok és fix értékűek. A fix értékű feszültségstabilizátorok általában három kivezetésű kivitelezésben kaphatók (7.5.).

Vizsgáljuk meg az integrált feszültségstabilizátor működését, elvégezve a 7.5. ábrán bemutatott kapcsolással az alábbi táblázatba foglalt méréseket.

Annak érdekében, hogy a három bemutatott feszültségstabilizátort összehasonlíthassuk, meg kell vizsgálnunk a relatív feszültségváltozásukat, azaz hogy mennyit változik a kimeneti feszültség értéke a bemeneti feszültség egységni változására:

$$\Delta U_{rel} = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}}$$



7.5. ábra. LM7805 integrált feszültségstabilizátor

Határozzátok meg a relatív feszültségváltozásokat mindhárom stabilizátor esetén, két egymás utáni bemeneti feszültségértéket használva a mérési táblázatokból (pl. $U_{BE1} = 7\text{ V}$ és $U_{BE2} = 8\text{ V}$).

7.3. táblázat. Az integrált feszültségstabilizátor mérési adatai

$U_{BE}[V]$	$U_{KI}[V],$ $R_T=1\text{ k}\Omega$	$U_{KI}[V],$ $R_T=10\text{ k}\Omega$	$U_{KI}[V],$ $R_T=100\text{ k}\Omega$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

KISFREKVENCIÁS ERŐSÍTŐFOKOZAT

8.1. A gyakorlat célja

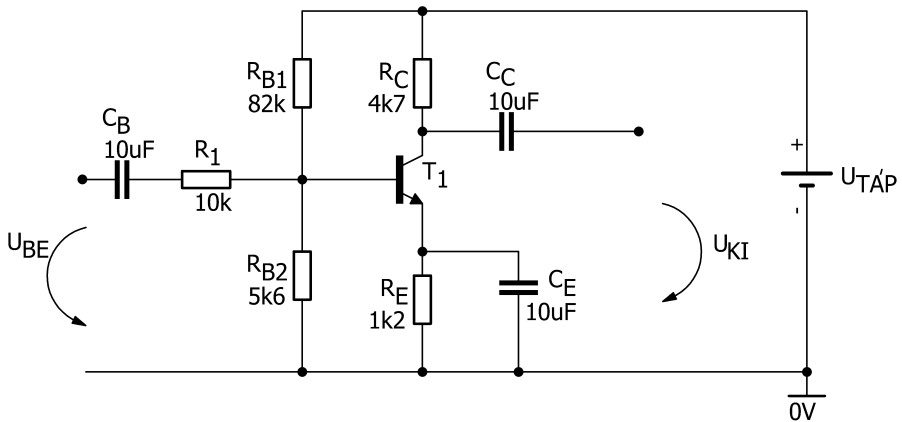
A gyakorlat célja bemutatni a közös emitteres kapcsolásmódban működő kisfrekvenciás erősítőfokozat működését. A hallgatók kiszámítják a kapcsolásban szereplő tranzisztor munkapontját és megméri a feszültség-erősítést, illetve az áramkör frekvenciamenetét. A mérések alapján meghatározzák az erősítő központi frekvenciáját és a 3 dB jelszintnek megfelelő vágási frekvenciákat.

8.2. Szükséges eszközök

- bipoláris tranzisztorok tanulmányozására kifejlesztett didaktikai stand;
- BC547 típusú bipoláris tranzisztor adatlapja;
- jelgenerátor;
- kétcsatornás elektronikus oszcilloszkóp;
- oszcilloszkópszondák;
- egyenfeszültségű tápegység (12 V).

8.3. A mérés menete

Állítsátok össze a 8.1. ábrán látható áramkört. A bemeneti szinuszosan váltakozó jelet jelgenerátor szolgáltatja. A bemeneti és a kimeneti jeleket oszcilloszkóp segítségével tanulmányozzuk.



8.1. ábra. A kisfrekvenciás erősítő kapcsolási rajza

8.4. A tranzisztor munkapontjának a meghatározása

A munkapont meghatározásánál két értéket kell kiszámítani: a tranzisztor kollektoráramát (I_C) és a tranzisztor kollektor-emitter feszültségét (U_{CE}). Figyelembe véve, hogy a bázisáram sokkal kisebb, mint a kollektor áram és elhanyagolva az értékét, az áramkörben három lépésben lehet a munkapontot meghatározó áram- és feszültségértéket kiszámítani. Először az R_{B1} és R_{B2} ellenállások által meghatározott feszültségosztóból kiszámítjuk a tranzisztor bázisában mérhető feszültséget:

$$U_B = R_{B2} \cdot I_{B2} = R_{B2} \cdot \frac{U_{TAP}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

A második lépésben kiszámítható az emitter ellenálláson eső feszültség és a rajta átfolyó áramerősség értéke:

$$U_{RE} = U_{RB2} - 0,6 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E}$$

A kollektoráram jó megközelítéssel ugyanakkora, mint az emitteráram:

$$I_C = I_E.$$

A harmadik lépésben kiszámítható a kollektor-emitter feszültség:

$$U_{CE} = U_{TAP} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E$$

8.5. A feszültségerősítés mérése

A 8.1. ábrán látható áramkörben állítsuk be a bemeneti, szinuszosan váltakozó jel frekvenciáját $f_{in} = 10$ kHz-re. A bemeneti feszültség csúcsértékét változtassuk a 8.1. táblázatban feltüntetett értékek szerint. Oszilloszkóp segítségével vizsgáljuk a bemeneti (U_{BE}) és kimeneti (U_{KI}) jeleket. A kimeneti jel értékeit jegyezzük le a 8.1. táblázatba, majd számítsuk ki az A feszültségerősítés értékét mindkétféleképpen.

A méréseket kétszer végezzétek el: először a C_E kondenzátor nélkül, majd a C_E kondenzátorral.

8.1. táblázat. A kisfrekvenciás erősítő fokozattal végzett mérések adatai

U_{BE} [mV]	U_{KI} [mV],	$A = \frac{U_{KI}}{U_{BE}}$	$A = 20 \cdot \lg A$ [dB],
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
110			
120			

Milyen szerepe van a C_E kondenzátornak?

Frekvenciamenet mérése

A méréseket a C_E kondenzátorral bekötve végezzük. A 8.1. ábrán látható áramkörben állítsuk be a bemeneti jel csúcsértékét $U_{BE} = 50$ mV-ra. A bemeneti jel frekvenciáját változtassuk a 8.2. táblázatban feltüntetett értékek szerint. Oszilloszkóp segítségével mérjük a bemeneti (U_{BE}) és kimeneti (U_{KI}) jeleket. A kimeneti jel csúcsértékét jegyezzük le a 8.2. táblázatba, majd számítsuk ki az A feszültségerősítés értékét mindkétféleképpen.

8.2. táblázat. A kisfrekvenciás erősítő fokozattal végzett frekvenciamenet-mérések adatai

f [Hz]	$U_{KI}[\text{mV}]$,	$A = \frac{U_{KI}}{U_{BE}}$	$A = 20 \cdot \lg A$ [dB],
30			
60			
90			
120			
300			
600			
900			
1800			
6 k			
9 k			
18 k			
36 k			
60 k			
90 k			
180 k			
600 k			
900 k			
1,8 M			
3,6 M			

8.6. Feladatok

Ábrázoljátok grafikusán az átviteli függvényt, $A_{dB}=A_{dB}(U_{in})$, a mérési adatok alapján.

Ábrázoljátok grafikusán a frekvenciaátviteli függvényt $A_{dB}=A_{dB}(\lg f)$, a mérési adatok alapján.

Határozzátok meg a -3 dB küszöbszint alapján az alsó (f_{min}), illetve a felső (f_{max}) frekvenciakorlátot.

Határozzátok meg az erősítő központi frekvenciáját.

Értelmezzétek az eredményeket.

TÉRVEZÉRLÉSŰ TRANZISZTOROK JELLEGGÖRBÉI

9.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja az önvezető n csatornás jFET működésének tanulmányozása, jelleggörbéinek kimérése és grafikus ábrázolása.

9.2. Szükséges eszközök

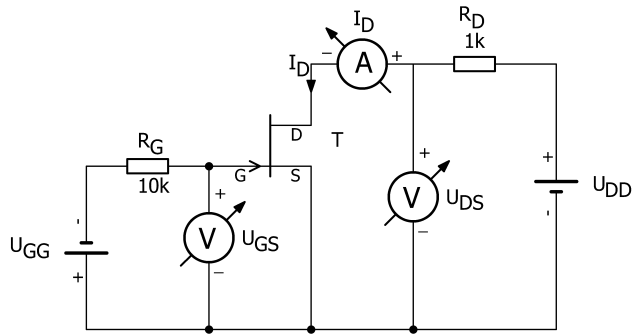
- tervezérlésű tranzisztorok tanulmányozására kifejlesztett didaktikai stand;
- BF245C típusú jFET és adatlapja;
- egyenfeszültségű változtatható feszültségforrás (2 x 0-15V);
- feszültségmérő;
- árammérő.

9.3. A mérés menete

Állítsátok össze a 9.1. ábrán látható kapcsolást.

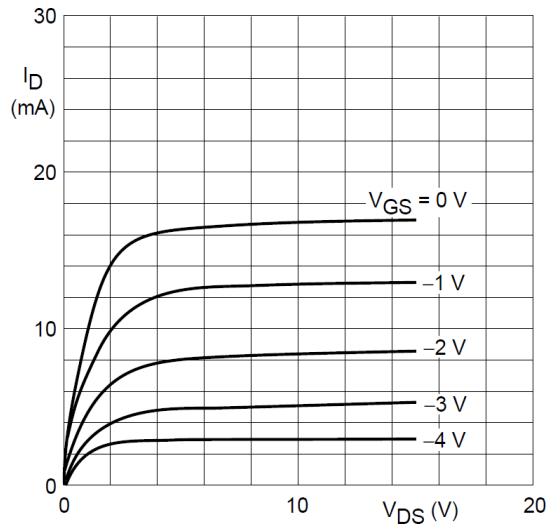
9.4. A statikus kimeneti jelleggörbesereg mérése

A 9.1. ábrán látható kapcsolásban beállítunk egy állandó gate-source (U_{GS}) feszültséget, majd a drain-source feszültséget (U_{DS}) a 9.1. táblázatba foglalt értékek alapján változtatva, mérjük az I_D drain áramot. A méréseket megismételjük $U_{GS} = 0, 1, 2, 3$ és 4 V esetén.



9.1. ábra. Az n csatornás jFET jelleggörbe méréséhez használt áramkör

A mérési eredmények alapján ábrázoljátok grafikusán az $I_D = f(U_{DS})$ görbéket ugyanabba a koordináta-rendszerbe. A tipikus kimeneti jelleggörbesereget az alábbi ábra szemlélteti.



9.2. ábra. Az n csatornás jFET kimeneti jelleggörbeserege

9.1. táblázat. Az n csatornás jFET kimeneti jelleggörbe mérési adatai

$U_{DS}[V]$	$-I_D[mA],$ $U_{GS}=0V$	$-I_D[mA],$ $U_{GS}=1V$	$-I_D[mA],$ $U_{GS}=2V$	$-I_D[mA],$ $U_{GS}=3V$	$-I_D[mA],$ $U_{GS}=4V$
0					
0,25					
0,5					
0,75					
1					
1,5					
2					
3					
4					

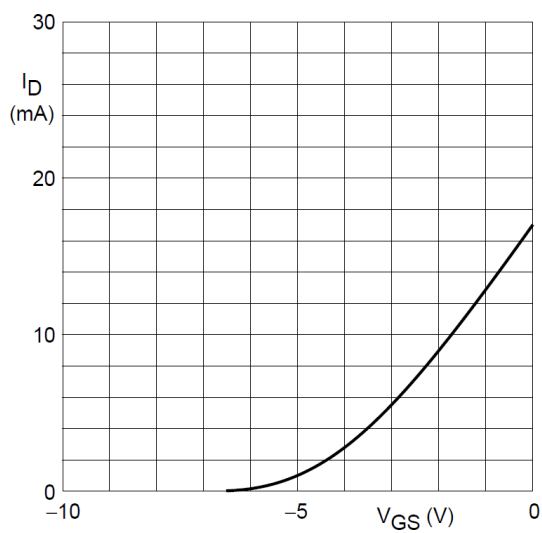
9.5. Statikus átviteli jelleggörbe mérése

A 9.1. ábrán látható kísérleti áramkört használva, beállítunk egy állandó $U_{DS} = 15\text{ V}$ feszültségértéket, majd az U_{GS} gate-source feszültséget a 9.2. táblázatba jegyzett értékek szerint változtatva, mérjük az I_D drain áramot. A mért értékeket a 9.2. táblázatba jegyezzük le.

A mérési eredmények alapján ábrázoljátok grafikusan az $I_D=f(U_{GS})$ görbét. A tipikus átviteli jelleggörbét az alábbi ábra szemlélteti.

9.2. táblázat. Az n csatornás jFET átviteli jelleggörbe mérési adatai

$U_{GS}[V]$	$I_D[mA]$
0	
-1	
-2	
-3	
-4	
-5	
-6	
-7	
-8	



9.3. ábra. Az n csatornás jFET átviteli jelleggörbéje

OPTOELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK

10.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja a leggyakrabban használt optoelektronikai eszközök: fénykibocsátó diódák, fotoellenállások, fotodiódák, fototranzisztorok és optocsatolók tanulmányozása, átviteli jelleggörbéjük megrajzolása.

10.2. Szükséges eszközök

- optoelektronikai eszközök tanulmányozására fejlesztett didaktikai stand;
- feszültségmérő;
- árammérő;
- ellenállásmérő;
- CNY17 optocsatoló és adatlapja.

10.3. Fénykibocsátó diódák (LED-ek)

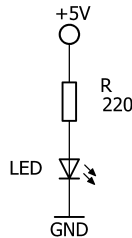
Elnevezésük az angol Light Emitting Diode rövidítéséből származik. Áramkörü jelölésüket a 10.1. ábra mutatja be.



10.1. ábra. A fénykibocsátó dióda egyezményes áramkörü jelölése

A LED-ek olyan diódák, amelyek nyitó irányú áram hatására fényt bocsátanak ki. Különböző színű kivitelezésben gyártják: piros, narancs, sárga, zöld, kék, fehér és infravörös (IR). A kibocsátott fény színe az alapanyagtól függ. Általában gallium-arzenid-foszfidból készülnek. A gyakorlat során a

fényérzékeny optoelektronikai eszközöket fehér színű LED segítségével világítjuk meg. A fénydiódákat a 10.2. ábrán látható módon egy ellenállással sorba kapcsolva használják. Az ellenállás áramkorlátozó szerepet tölt be.



10.2. ábra. LED-meghajtó áramkör

Figyelembe véve, hogy a gyakorlat során használt fehér színű LED nyitófeszültsége 3,3 V:

$$I_{LED} = I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{5-3,3}{220} = \frac{1,7}{220} = 7,72mA$$

A gyakorlat során a fehér LED tápfeszültségét változtatva növeljük a megvilágítás erejét.

10.4. Fotoellenállások

Olyan félvezető eszközök, amelyeknek elektromos ellenállása a megvilágítás erősségétől függ. Áramköri jelölésük a 10.3. ábrán látható.

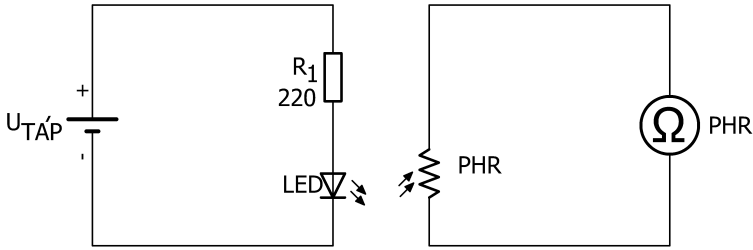


10.3. ábra. A fotoellenállás egyezményes áramköri jelölése

Az ellenállás értéke csökken a megvilágítás növekedésével. A legnagyobb ellenállásértéket sötét ellenállásnak, míg a legkisebb értéket világos ellenállásnak nevezzük. Alapanyaguk a kadmium-foszfid és a kadmium-szelenid. A 10.4. ábra a gyakorlati standon összeállított áramkört szemlélteti.

A mérés során a fehér LED tápfeszültségét változtatva növeljék a megvilágítás erejét, és mérőműszer segítségével mérik a fotoellenállás értékét. A mérési adatok alapján töltsék ki a 10.1. táblázatot.

Ábrázoljátok grafikusan az ellenállás értékét a LED-en átfolyó áramerősség függvényében.



10.4. ábra. A fotoellenállás jelleggörbájének tanulmányozására használt áramkör

10.1. táblázat. A fotoellenállással végzett mérési adatok

$U_{TAP}[V]$	$I_{LED}[mA]$	$PHR[\Omega]$
0		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

10.5. Fotodiódák

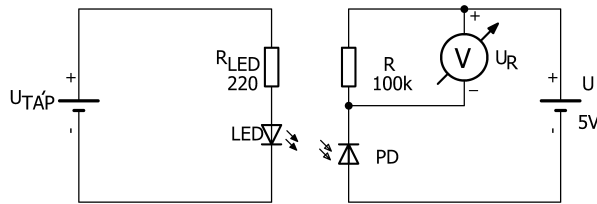
Átlátszó üvegtokozással vagy műanyagtokozással ellátott diódák, amelyeknek a visszáramuk megvilágítás esetén megnő. Egyezményes áramköri jelölésüket a 10.5. ábra szemlélteti.



10.5. ábra. A fotodióda egyezményes áramköri jelölése

$U_{AK} = 0$ V esetén a fotodióda visszárama arányos a megvilágítás erősségével. Ezt a tulajdonságot kihasználva fotóvevőként használhatjuk. Erőteljes megvilágítás esetén a szilíciumból készült fotodiódák feszültsége hozzávetőleg 0,5 V. Így a fotodiódákat elektromos energia előállítására is használhatjuk. Erre a célra nagy felületű fotodiódákat gyártanak (napelemek).

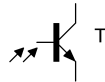
Feléledési idejük kicsi, így gyors változásokra is érzékenyek, határfrekvenciájuk 10 MHz.



10.6. ábra. A fotodióda egyezményes áramköri jelölése

Állítsátok össze a 10.6. ábrán látható kapcsolást, változtassátok a fehér LED tápfeszültségét a 10.2. táblázatban található értékek alapján és mérjétek feszültségmérő segítségével az ellenálláson eső feszültséget. Töltsétek ki a mérési adatokkal a 10.2. táblázatot. Ismételjétek meg a méréseket a standon található, infravörös tartományban működő LED-et és fotodiódát használva.

10.6. Fototranzisztorok

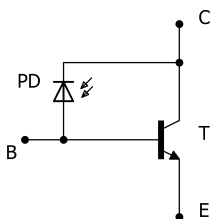


10.7. ábra. A fototranzisztor egyezményes jelölése

A fototranzisztorok áramköri jelölését a 10.7. ábra szemlélteti. Működésüket a helyettesítő áramkör alapján tanulmányozhatjuk (10.8. ábra).

10.2. táblázat. A fotodiódával végzett mérések adatai

$U_{TAP}[V]$	$U_R[V]$	$I_{LED}[\mu A]$
0		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

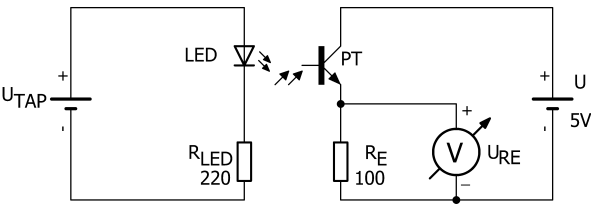


10.8. ábra. A fototranzisztor helyettesítő áramköre

A B-C átmenet fotodiódaként működik. A megvilágítás hatására a fotodióda visszárama megnő. A tranzisztor bázisárama nem más, mint a fotodióda visszárama, így a tranzisztor nyit és egy felerősített kollektoráramot enged át.

A fototranzisztor működése a 10.9. ábrán bemutatott áramkörrel tanulmányozható.

A mérési eredményeket foglaljátok a 10.3. táblázatba, majd ábrázoljátok grafikusan az $U_R = f(I_{LED})$ görbét.



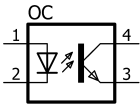
10.9. ábra. A fototranzisztor tanulmányozását szolgáló áramkör

10.3. táblázat. A fototranzisztorral végzett mérések adatai

$U_{TAP}[V]$	$U_R[V]$	$I_{LED}[\mu A]$
0		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

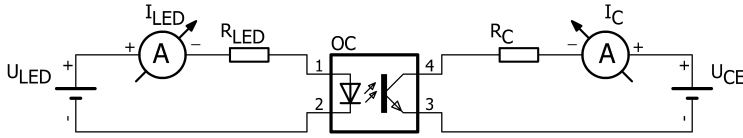
10.7. Optocsatolók (Fénycsatolók)

A fénycsatolók fénydióda és fototranzisztorból álló áramkörök. Integrált áramkör formában vannak kivitelezve. Alkalmasak analóg és digitális jelek átvitelére is. Egyezményes áramköri jelölésüket a 10.10. ábra szemlélteti.



10.10. ábra. Az optocsatoló áramköri jelölése

Valósítsátok meg a 10.11. ábrán látható kapcsolást és végezzétek el a 10.4. táblázatba foglalt méréseket. Az U_{LED} és az U_{CE} tápfeszültségek 5 V értékűek. Ábrázoljátok grafikusan az $I_C = f(I_{LED})$ görbét.



10.11. ábra. Az optocsatoló tanulmányozását szolgáló áramkör

10.4. táblázat. Az optocsatolóval végzett mérések adatai

$I_{LED} [mA]$	$I_C [mA]$	$\alpha = I_C / I_{LED}$
0		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Az α áramcsatolási tényező viszonylag kicsi (0,1), ha fotodiódát használunk fényvevőnek, és nagyobb fototranzisztor használata esetén (10 .. 300). Jó hatásfok elérésére az optocsatolók infravörös (IR) tartományban működnek.

TÖBBÁTMENETES FÉLVEZETŐ ESZKÖZÖK

11.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja megismerni a DIAC, TRIAC és a tirisztor működését, belső szerkezetét és alapvető alkalmazásait. Ugyanakkor a gyakorlat céljához tartozik a fent említett többátmenetes félvezetők átviteli jelleggörbéinek a mérése is.

11.2. Szükséges eszközök

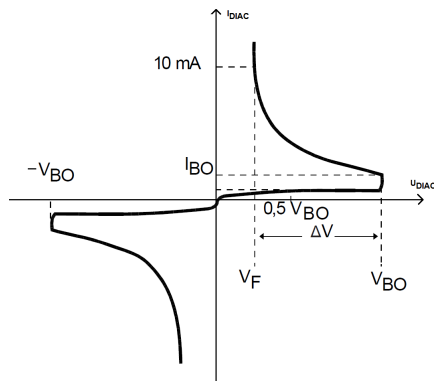
- többátmenetes félvezető eszközök tanulmányozására kifejlesztett laborstand;
- TRIAC-os fényerőszabályzó laboratóriumi stand;
- DB3 típusú DIAC adatlapja;
- egyenfeszültségű változtatható feszültségforrás (0-35 V);
- feszültségmérő;
- árammérő;
- két csatornás oszcilloszkóp.

11.3. A DIAC (Diode Alternating Current Switch)

A DIAC, amint angol megnevezése is mutatja, egy váltakozó áramú kapcsolódióda, mely a feszültségpolaritás változására szinte szimmetrikusan viselkedik. A DIAC áramköri jelölését a 11.1. ábra szemlélteti.

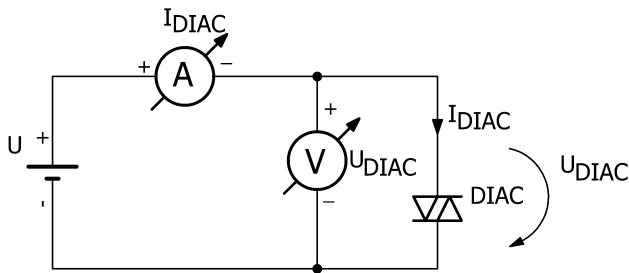


11.1. ábra. A DIAC egyezményes jelölése



11.2. ábra. A DIAC átviteli jelleggörbéje

A DIAC átviteli jelleggörbéje a 11.2. ábrán látható. Alakja szimmetrikus, tehát a DIAC egyformán viselkedik pozitív és negatív feszültségekre is. A V_{BO} és a $-V_{BO}$ a DIAC billenési feszültségei. Ezen feszültségek fölött kezd vezetni.



11.3. ábra. A DIAC tanulmányozására használt áramkör

Tanulmányozzátok a DB3-as típusú DIAC jellemzőit, állítsátok össze a 11.3. ábrán látható áramkört, majd végezzétek el a 11.1. táblázatban megadott mérősorozatot, és hasonlítsátok össze az elméleti, illetve a mért adatokat. Cseréljétek fel a tápfeszültség polaritását és ismételjétek meg a mérősorozatot annak érdekében, hogy a jelleggörbe negatív részét is megkapjátok.

Ábrázoljátok grafikusán, a mérési eredmények alapján, ugyanarra a grafikonra az $I_{DIAC} = f(U_{DIAC})$ görbét.

11.1. táblázat. A DIAC-kal végzett mérések adatai

$U_{\text{DIAC}}[\text{V}]$	$I_{\text{DIAC}}[\text{mA}]$	$I_{\text{DIAC}}[\text{mA}]$ fordított polaritással
0		
5		
10		
15		
20		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
40		

11.4. A tirisztor

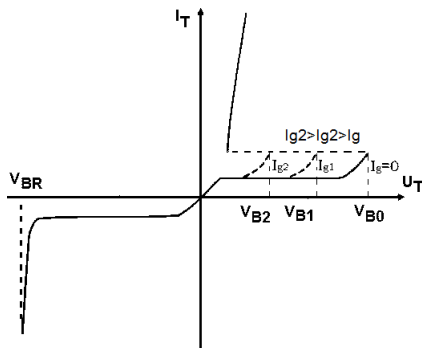
A tirisztor egyezményes áramköri jelölése a 11.4. ábrán látható.



11.4. ábra. A tirisztor egyezményes jelölése

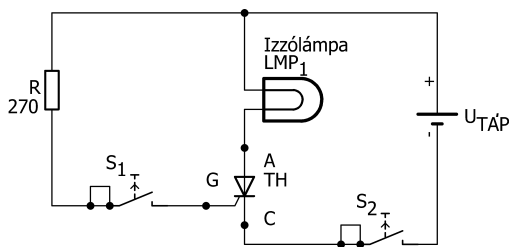
A tirisztorok végződése az anód (A), katód (C) és a kapu (G). A kapu a tirisztor vezérlőelektródja.

A tirisztor átviteli jelleggörbéje a 11.5. ábrán látható. A jelleggörbe a tirisztoron áthaladó áramerősség értékét ábrázolja a tirisztor anód-katód feszültségének a függvényében. A jelleggörbesereg különböző kapu-katód feszültségen mérve ábrázolható. Az U_H tartófeszültség és az I_H tartóáram páros által meghatározott pont a tirisztor kritikus pontja.



11.5. ábra. A tirisztor átviteli jelleggörbéje

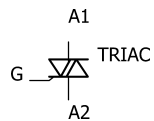
Valósítsátok meg és tanulmányozzátok a 11.6. ábrán található kapcsolást.



11.6. ábra. A tirisztor tanulmányozására használt áramkör

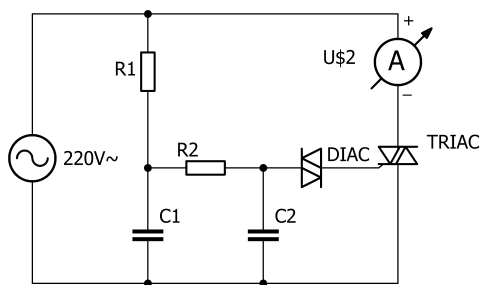
11.5. A TRIAC

A TRIAC (Triode Alternating Current Switch) egyezményes áramköri jelölését a 11.7. ábra szemlélteti.



11.7. ábra. A TRIAC egyezményes áramköri jelölése

Tanulmányozzátok oszcilloszkóp segítségével a 11.8. kapcsolást, melynek segítségével az izzólámpa fényerejét állíthatjuk. Figyeljétek meg a fázis-
hasítást.



11.8. ábra. TRIAC-os fényerőszabályzó kapcsolási rajza

MŰVELETI ERŐSÍTŐK ALAPKAPCSOLÁSAI

12.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja megismerni a műveleti erősítők működését és a segítségükkel megvalósított alapvető erősítő kapcsolásokat: a fázisfordító és a fázist nem fordító erősítőket.

12.2. Szükséges eszközök

- műveleti erősítők tanulmányozására kifejlesztett didaktikai labor stand;
- LM324 – műveleti erősítő integrált áramkör és az adatlapja;
- jelgenerátor;
- kétcsatornás oszcilloszkóp;
- dupla feszültségforrás ($\pm 15\text{V}$).

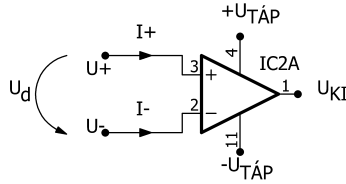
12.3. Bevezetés

A műveleti erősítőket feszültségek erősítésére, összehasonlítására, illetve különböző matematikai műveletek elvégzésére használják (összeadás, kivonás, deriválás, integrálás, logaritmálás stb.).

A műveleti erősítők a kereskedelemben integrált áramkör formájában kaphatók pl. UA741, LM309 vagy LM324 elnevezés alatt. A laboratóriumi gyakorlatok során a LM324 típusú, 4 műveleti erősítőt tartalmazó integrált áramkört használjuk. A műveleti erősítők egyezményes áramköri jelölését a 12.1. ábra szemlélteti.

Az LM324 integrált áramkör teljes lábkiosztását a katalóguslapján lehet megtalálni.

A műveleti erősítők jellegzetes feszültségeit és gyakran használt áramait is tartalmazza a 12.1. ábra:



12.1. ábra. A műveleti erősítők egyezményes áramköri jelölése

- U_+ fázist nem fordító bemenet;
- U_- fázisfordító bemenet;
- U_d differenciális bemeneti feszültség;
- U_{ki} kimeneti feszültség;
- $+U_{táp}$, $-U_{táp}$ pozitív, illetve negatív tápfeszültség;
- I_+ , I_- fázist nem fordító, illetve fázisfordító bemeneti áramok.

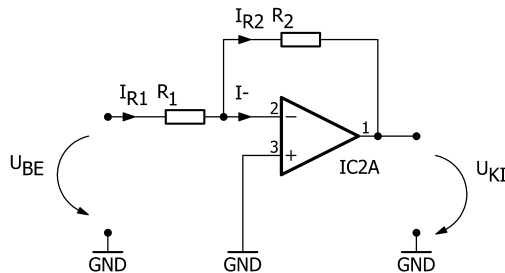
Az I_+ , I_- bemeneti áramok jó megközelítéssel nullának tekinthetők, mivel a bemeneti impedancia végtelen nagy (I_+ , $I_- = 0$). Az ideális műveleti erősítők feszültségerősítése az alábbi módon értelmezhető:

$$A = \frac{U_{ki}}{\Delta U_{be}} = \frac{U_{ki}}{U_d} = \frac{U_{ki}}{U_+ - U_-}$$

Értéke nagy, $10^6 - 10^8$ nagyságrendű.

Erősítésre negatív visszacsatolással használják a műveleti erősítőket.

12.4. Fázisfordító erősítők



12.2. ábra. A fázisfordító erősítő kapcsolási rajza

A 12.2. ábrán látható műveleti erősítőnek negatív visszacsatolása van az R_1 ellenálláson keresztül. Így a fázisfordító bemenet és a fázist nem fordító bemenet közötti feszültség értéke nulla lesz:

$$U_d = U_+ - U_- = 0 \text{ V}$$

Az R_1 és R_2 ellenállásokon átfolyó áramok egyenlőek, mivel a műveleti erősítők bemeneti ellenállása nagyon nagy, és ezért elhanyagolható a bemeneti áramuk.

$$\begin{aligned} I_{R1} &= I_{R2} \\ \frac{U_{be}}{R_1} &= \frac{-U_{ki}}{R_2} \end{aligned}$$

A kimeneti feszültséget csak a bemeneti feszültség és az ellenállások értékei határozzák meg:

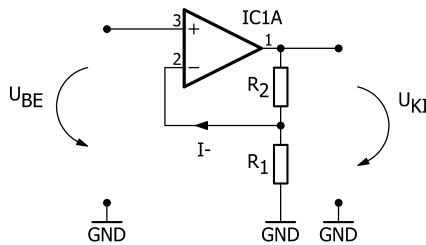
$$\begin{aligned} U_{ki} &= -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{be} \\ U_{ki} &= A \cdot U_{be} \end{aligned}$$

Az áramkör feszültségerősítését (A) az ellenállások értékeinek az aránya határozza meg, és mivel negatív előjelű, a kapcsolás fázisfordító.

$$A = -\frac{R_2}{R_1}$$

Amennyiben az R_1 és R_2 ellenállások értéke egyenlő, az erősítés értéke -1.

12.5. Fázist nem fordító erősítők



12.3. ábra. A fázist nem fordító erősítő kapcsolási rajza

A negatív visszacsatolás ebben az esetben az R_1 , R_2 ellenállásokból álló feszültségosztón keresztül valósul meg. Most is

$$U_+ = U_- = U_{BE} \quad U_{BE} = \frac{U_{KI}}{R_1 + R_2}$$

Az áramkör kimeneti feszültsége:

$$U_{KI} = U_{BE} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

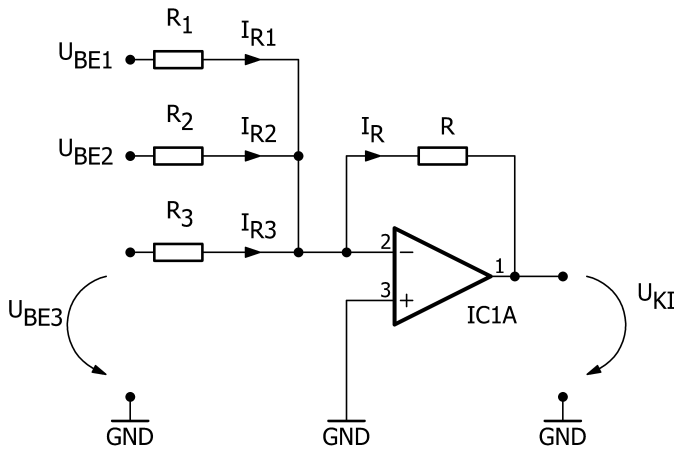
Ebben az esetben is csak az R_1 és R_2 ellenállások határozzák meg az erősítés értékét.

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Ha az R_1 ellenállás végtelen nagy értékű (hiányzik a kapcsolásból), akkor az erősítési tényező $A = 1$.

Állítsatok össze rendre a 12.2., 12.3. ábrákon látható áramköröket. Ismerve az ellenállások értékeit, számítsátok ki a kimeneti feszültségek értékeit. A bemenetre, jelgenerátor segítségével 100 mV amplitúdójú, 1 kHz frekvenciájú, szinuszosan váltakozó jelet adva, oszcilloszkópot használva vizsgáljátok meg a kimeneti jeleket.

12.6. Összeadó áramkör



12.4. ábra. Az összeadó áramkör kapcsolási rajza

A 12.4. ábrán látható áramkör a három bemeneti jel súlyozott összegét adja a kimeneten, mínusz előjellel. A negatív visszacsatolás az R ellenálláson keresztül valósul meg. Így a műveleti erősítő fázisfordító bemenete is nulla potenciálon van ($U_- = 0$ V).

Az R ellenálláson átfolyó áram értéke:

$$I_R = \frac{-U_{KI}}{R}$$

Ez az áram egyenlő az R_1 , R_2 , illetve az R_3 ellenállásokon átfolyó áramoknak az összegével.

$$I_{R1} = \frac{U_{BE1}}{R_1}, I_{R2} = \frac{U_{BE2}}{R_2}, I_{R3} = \frac{U_{BE3}}{R_3}$$

$$\frac{-U_{KI}}{R} = \frac{U_{BE1}}{R_1} + \frac{U_{BE2}}{R_2} + \frac{U_{BE3}}{R_3}$$

$$U_{KI} = -R \cdot \left(\frac{U_{BE1}}{R_1} + \frac{U_{BE2}}{R_2} + \frac{U_{BE3}}{R_3} \right)$$

Ebben az alakban az áramkör súlyozott összegzést végez. Ha az ellenállások azonos értékűek ($R_1=R_2=R_3=R$), akkor egyszerű fázisfordító összegzőről beszélhetünk.

$$U_{KI} = -(U_{BE1} + U_{BE2} + U_{BE3})$$

Egységnyi erősítésű fázisfordító műveleti erősítővel eltüntethetjük a mínusz előjelet.

Állítsátok össze a 12.4. ábrán látható áramkört. Ismerve az ellenállások értékeit, számítsátok ki a kimeneti feszültség értékét. A bemenetre rendre 1 V, 2 V és 3 V értékű feszültséget kötve, oszcilloszkóp segítségével vizsgáljátok és mérjétek meg a kimeneti jelet.

MŰVELETI ERŐSÍTŐK ALKALMAZÁSAI

13.1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja megismerni a műveleti erősítők pozitív visszacsatolását és a segítségükkel megvalósított Schmitt-trigger kapcsolásokat: a fázisfordító és a fázist nem fordító Schmitt-triggert.

13.2. Szükséges eszközök

- műveleti erősítők tanulmányozására kifejlesztett laboratóriumi stand;
- LM324 műveleti erősítő integrált áramkör és az adatlapja;
- jelgenerátor;
- kétcsatornás oszcilloszkóp;
- dupla feszültségforrás ($\pm 15\text{V}$).

13.3. Bevezetés

A műveleti erősítők visszacsatolás nélkül komparátorként működnek. Ilyenkor a kimeneti feszültségük két értéket vehet fel:

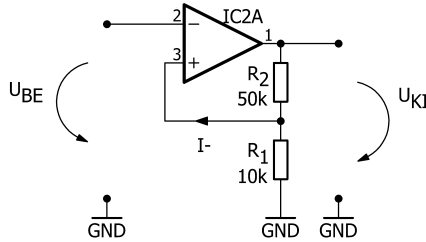
$$U_{KI} = +U_{táp}, \text{ ha } U_+ > U_-, \text{ azaz } (U_d > 0);$$

$$U_{KI} = -U_{táp}, \text{ ha } U_+ < U_-, \text{ azaz } (U_d < 0).$$

Pozitív visszacsatolás esetén a műveleti erősítők Schmitt-trigger áramkörként működnek. A Schmitt-triggerek billenő áramkörök, a kimenetük két érték között váltakozik ($+U_{táp}$, $-U_{táp}$). A billenés feltétele az, hogy a differenciális bemeneti feszültség értéke 0 legyen: $U_d = 0 \text{ V}$.

A billenési feltételből két küszöbfeszültséget lehet kiszámolni.

13.4. Fázisfordító Schmitt-trigger



13.1. ábra. A fázisfordító Schmitt-trigger áramkör kapcsolási rajza

A pozitív visszacsatolás az R_2 ellenálláson keresztül valósul meg.

A billenési feltételből ($U_d = 0$) következik, hogy $U_+ = U_- = U_{BE}$. Ugyanakkor az R_1 ellenálláson mérhető feszültség is egyenlő a bemeneti feszültséggel.

$$U_{BE} = U_{R1} = \frac{U_{KI}}{R_1 + R_2} \cdot R_1$$

Innen a bemeneti feszültség két értéket vehet fel, a két lehetséges kimeneti feszültségtől (+Utáp, -Utáp) függően. Ezek lesznek az áramkör billenési küszöbei:

$$U_M = +U_{TAP} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_m = -U_{TAP} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

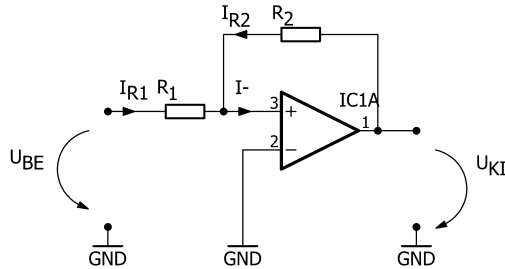
Az $U_h = U_M - U_m$ feszültséget hiszterézis feszültségnek nevezik.

Ismerve az ellenállások és a tápfeszültség értékét, határozzátok meg a 13.1. ábrán látható kapcsolás billenési küszöbeit. Állítsátok össze a 13.1. ábrán bemutatott áramkört. Jelgenerátor segítségével az áramkör bemenetére 3 V amplitúdójú és 1 kHz frekvenciájú szinuszosan váltakozó jelet adva, oszcilloszkóp segítségével vizualizáljátok, majd rajzoltjátok le egymás alá a bemeneti és kimeneti feszültségeket.

Ha grafikusan ábrázoljuk a kimeneti feszültséget a bemeneti feszültség függvényében, megkapjuk a fázisfordító Schmitt-trigger átviteli karakterisztikáját. A karakterisztika hiszterézis alakú. Az oszcilloszkópot X-Y üzemmódban használva, vizsgáljátok meg a fázisfordító Schmitt-trigger átviteli jelleggörbét.

13.5. Fázist nem fordító Schmitt-trigger

A fázist nem fordító Schmitt-trigger kapcsolási rajzát a 13.2. ábra szemlélteti.



13.2. ábra. A fázist nem fordító Schmitt-trigger áramkör kapcsolási rajza

A pozitív visszacsatolás ebben az esetben is az R_2 ellenálláson keresztül valósul meg. A billenési feltétel itt is $U_d = 0$, azaz $U_+ = U_- = 0V$.

Ohm törvényét alkalmazva kifejezhetjük az I_1 és I_2 áramokat:

$$I_1 = \frac{U_{BE}}{R_1} \text{ és } I_2 = \frac{U_{KI}}{R_2}$$

Majd Kirchhoff csomópontokra vonatkozó törvénye alapján felírhatjuk:

$$I_1 = -I_2$$

$$\frac{U_{BE}}{R_1} = -\frac{U_{KI}}{R_2}$$

$$U_{BE} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{KI}$$

Ha behelyettesítjük a két lehetséges kimeneti értéket ($+U_{táp}$, $-U_{táp}$), megkapjuk a két billenési küszöböt:

$$U_M = +U_{TAP} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

$$U_m = -U_{TAP} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Ismerve az ellenállások és a tápfeszültség értékét, határozzátok meg a 13.2. ábrán látható kapcsolás billenési küszöbeit. Állítsátok össze a 13.2. ábrán bemutatott áramkört. Jelgenerátor segítségével az áramkör bemenetére 3 V amplitúdójú és 1 kHz frekvenciájú szinuszosan váltakozó jelet adva, oszcilloszkóp segítségével jelenítsétek meg, majd rajzoljátok le egymás alá a bemeneti és kimeneti feszültségeket.

Ha grafikusán ábrázoljuk a kimeneti feszültséget a bemeneti feszültség függvényében, megkapjuk a fázist nem fordító Schmitt-trigger átviteli karakterisztikáját. A karakterisztika hiszterézis alakú. Az oszcilloszkópot X-Y üzemmódban használva vizsgáljátok meg a fázisfordító Schmitt-trigger átviteli jelleggörbét.

SZAKIRODALOM

- Ulrich Tietze – Christoph Schenk. 1993. *Analóg és digitális áramkörök*. Bp., Műszaki Könyvkiadó.
- Gabriel Oltean. 2006. *Electronic devices*. Kolozsvár, U. T. Press.
- Thomas L. Floyd. 2003. *Dispozitive electronice*. Bucureşti, Ed. Teora.
- Zoltán Germán-Salló. 2008. *Dispozitive şi circuite electronice*. Bucureşti, Ed. Matrix Rom.
- Szittya Ottó. 2001. *Digitális és analóg technika informatikusoknak*. Bp., LSI Oktatóközpont.
- Doris Csipkes – Gabor Csipkes. 2004. *Fundamental analog circuits: practical simulation exercises*. Kolozsvár, U. T. Press.
- Giovanni Saggio. 2004. *Principles of analog electronics*. Boca Raton, CRC Press.
- Dennis L. Eggleston. 2011. *Basic electronics for scientists and engineers*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Marian Răducu. 2009. *Electronică analogică: teorie şi aplicaţii*. Bucureşti, Matrix Rom.

ABSTRACT

This *Electronic Devices and circuits* laboratory guide contains 13 measurements designated for the students of Automation, Computer Engineering, Telecommunication Systems and Technologies, Mechatronics and Mechanical Engineering specializations at Sapiientia Hungarian University of Transylvania, Faculty of Technical and Human Sciences, Târgu Mureş.

Each section introduces an electronic device or an electronic device family together with their most usual circuits.

Each lab begins with some theoretical information, the schematic that needs to be built by the students, and the description of the measurements and calculations.

The experimental results must be summarized by the students in tables and recorded data must be visualized in the form of graphs.

REZUMAT

Îndrumătorul de laborator pentru disciplina Dispozitive electronice conține 13 lucrări care au rolul de a prezenta studenților de la programele de studii Automatizări și informatică aplicată, Calculatoare, Tehnologii și sisteme de telecomunicații, Mecatronică și Inginerie mecanică, principalele componente electronice pasive, dispozitivele electronice semiconductoare și circuitele electronice de bază construite cu acestea, studiate în cadrul cursului de Dispozitive electronice al Universității Sapienția din Cluj-Napoca, Facultatea de Științe Tehnice și Umaniste din Târgu Mureș.

Lucrările cuprind câteva noțiuni introductive de teorie, schemele circuitelor electronice care trebuie realizate de către studenți respectiv descrierea efectuării măsurărilor și a efectuării calculelor specifice fiecărui dispozitiv electronic studiat.

Rezultatele experimentale trebuie completate sub formă tabelară pentru fiecare lucrare efectuată. Datele cuprinse în tabele trebuie de cele mai multe ori reprezentate grafic, pentru o mai bună înțelegere a funcționării dispozitivelor și circuitelor studiate.

A SZERZŐKRŐL

Domokos József a Kolozsvári Műszaki Egyetem Elektronika és Táv-
közlés szakán végezte egyetemi tanulmányait, majd ugyanott doktorált.
Három év termelésben és oktatásban töltött év után, 2004-ben csatlako-
zott a Sapientia EMTE Villamosmérnöki tanszékéhez, melynek 2014 óta
tanszékvezetője. Kutatási területei a beszédtechnológia, a jelfeldolgozás és
a Java alapú alkalmazások fejlesztése. Oktatóként analóg elektronikát, di-
gitális elektronikát, hírközlélméletet és távközlési szoftverfejlesztést tanít.

Papp Sándor a Marosvásárhelyi Petru Maior Egyetem Mérnöki Ka-
rán végezte tanulmányait Automatizálás és alkalmazott informatika szakon.
Doktori tanulmányait a brassói Transilvania Egyetemen végezte. 2002-től
a Sapientia EMTE Villamosmérnöki tanszékének oktatója, ahol analóg és
digitális elektronikához kapcsolódó tantárgyakat oktat: elektronikai eszkö-
zök és áramkörök, lineáris elektronikai áramkörök, passzív áramköri elemek,
digitális elektronika. Kutatási területe a vékonyréteg lerakás technológiai fo-
lyamatának a szabályozása.

Scientia Kiadó

400112 Kolozsvár (Cluj-Napoca)

Mátyás király (Matei Corvin) u. 4. sz.

Tel./fax: +40-364-401454

E-mail: scientiai@kpi.sapientia.ro

www.scientiakiado.ro

Korrektúra:

Szenkovics Enikő

Műszaki szerkesztés:

Domokos József

Tipográfia:

Könczey Elemér

Sorozatborító:

Tipotéka Kft.

A jegyzet az analóg elektronikában használt áramköri elemeket, ezek jelölését, belső felépítését és működését, valamint leggyakoribb alkalmazásait mutatja be. Gyakorlatokra tagolva ismerteti a passzív áramköri elemeket (ellenállások, kondenzátorok, tekercsek), a félvezető diódákat és legfontosabb alkalmazásait (egyenirányítás és feszültség stabilizálás), a bipoláris és térvezérlésű tranzisztorokat, az optoelektronikai eszközöket (fotoellenállás, fénykibocsátó dióda, fotodióda, fototranzisztor, optocsatoló), a többátmenetes félvezető eszközöket (DIAC, TRIAC, tirisztor), illetve a műveleti erősítőket (alapkapcsolásokkal és alkalmazásokkal).

A gyakorlati útmutató alapján elvégezhető mérések hozzájárulnak az analóg elektronikus áramkörökben használt eszközök működésének jobb megértéséhez, valamint a különböző, elektronikában használatos műszerek használatának az értő elsajátításához.

Jegyzetünk elektronikus formában érhető el a világhálón, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Elektronika laboratóriumának honlapján, a következő címen: www.ms.sapientia.ro/elektronika

ISBN 978-606-975-022-3



9 786069 750223